

172
Université Paris VI
Faculté de Médecine Pitié-Salpêtrière

Année 1974

T H E S E
pour le
DOCTORAT EN MEDECINE
(Diplôme d'Etat)

**Problèmes actuels
posés par les
carences en protides**

par

Marie Colette FLANDRIN-VERNE

née le 16 avril 1948 à Paris

présentée et soutenue publiquement le 5 juin 1974

Président : M. Jean-Louis PARROT, professeur



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Université Paris VI
Faculté de Médecine Pitié-Salpêtrière
Année 1974

T H E S E
pour le
DOCTORAT EN MEDECINE
(Diplôme d'Etat)

Problèmes actuels posés par les carences en protides

par

Marie Colette FLANDRIN-VERNE

née le 16 avril 1948 à Paris

présentée et soutenue publiquement le 5 juin 1974

Président : M. Jean-Louis PARROT, professeur



A mon président de thèse,

Monsieur le Professeur Jean Louis PARROT

Professeur titulaire de Physiologie
à la Faculté de Médecine de Paris
Biologiste, Chef de Service
à l'hôpital Necker-Enfants malades
membre de l'Académie nationale de Médecine

qui m'a fait le grand honneur d'accepter
la présidence de cette thèse

A mon grand-père,

Le Docteur Jean VERNE

Professeur honoraire à la Faculté de Médecine de Paris
Ancien Président de l'Académie nationale de Médecine
Président du Centre Charles-Richet
Commandeur de la Légion d'honneur
Croix de guerre 1914-1918

qui m'a inspiré le sujet de cette thèse, m'a guidée
lors de sa réalisation et au cours de mes études
médicales

A la mémoire de mon père,

Le Professeur Jean-Marie VERNE

Chirurgien de l'hôpital Tenon

Membre de l'Académie de Chirurgie

pour qui j'ai une grande admiration

A ma mère,

Le Docteur Angèle SOUBIRAN-VERNE

qui a toujours su me conseiller
et dont la tendresse m'a soutenue

Je leur dois à tous deux de m'être engagée
dans les études médicales et je les en remercie

A ma grand-mère, Madame Jean VERNE

A mon mari Jean Victor FLANDRIN qui m'aide et m'encourage

A mes frères et sœurs et leurs époux,

— Monsieur et Madame J. C. VERNE

— Madame VERNE,

— Monsieur et Madame F. PETRAUD

— Mademoiselle Laurence VERNE

A mes neveux et nièces

Julia, Michel, Valérie, Jean-Louis, Vincent, Jean-Marie

A mes beaux-parents

Monsieur et Madame FLANDRIN

A tous ceux qui me sont chers, parents et amis

A Monsieur le Docteur Antonin MANS

Inspecteur honoraire de la Santé publique
Membre correspondant de l'Académie nationale
de Médecine
Directeur du Centre de Recherches Charles-Richet
sur la pathologie de la Déportation
Grand Officier de la Légion d'honneur

A Madame Simone HEBERT

Maître de Recherches à l'I.N.S.E.R.M., dont j'ai mis à
profit les travaux dans la réalisation de cette thèse

A mes maîtres de la Faculté de Médecine de Paris
et des hôpitaux

Je tiens à remercier :

Madame ASTIER-DUMAS et les Laboratoires de la B.P.
Mademoiselle CLEMENT et les Laboratoires
de l'Institut Français des Pétroles

qui m'ont envoyé très aimablement leurs travaux

Problèmes actuels posés
par les carences en protides

Problèmes actuels posés par les carences en protides

INTRODUCTION

Les protides occupent dans la ration alimentaire une place de premier plan. Ils sont, en effet, les constituants essentiels des macromolécules qui forment cellules et tissus. Comme l'a montré l'utilisation des corps radio marqués des macromolécules sont le siège d'un constant remaniement, d'un turn over et de nouveaux éléments azotés doivent venir remplacer ceux qui sont éliminés. Si l'apport alimentaire en est insuffisant, s'il y a carence ou malnutrition protidique, on voit apparaître des altérations à pathologie caractéristique et dont l'étude histologique révèle les stigmates.

Dans une première partie, nous ferons un rappel clinique de la malnutrition protidique chez l'homme et nous exposerons les modifications qui se manifestent dans l'expérimentation chez l'animal.

Dans une deuxième partie, nous montrerons quelles sont les causes de l'insuffisance du ravitaillement protidique dans la ration alimentaire et nous étudierons les moyens qui sont mis en œuvre ou proposés pour fournir des protides utilisables dans l'alimentation.

Position du problème

Toute étude des problèmes posés par la carence en protides à l'échelle mondiale, ne peut être menée sans une étude de la situation démographique.

I. — SITUATION DEMOGRAPHIQUE

En 1970, la population mondiale était estimée à 3.600 millions.

- Les 70 % de cette population se trouvent dans les régions insuffisamment développées, 50% sont concentrés dans cinq pays d'Asie : Chine, Inde, Indonésie, Japon et Pakistan.
- L'accroissement annuel est évalué à 70 millions.
- Les taux bruts de natalité sont de $34^{\circ}/\infty$ dans l'ensemble du monde, de 40 à $50^{\circ}/\infty$ dans le Tiers-Monde contre $18^{\circ}/\infty$ en Amérique du nord, Europe et U.R.S.S.
- Les taux bruts de mortalité sont de 15 à 25 0/00 dans le Tiers-Monde et de $10^{\circ}/\infty$ dans les pays développés.
- Les taux bruts de mortalité sont de 15 à $25^{\circ}/\infty$ dans l'ensemble du monde mais varient de 0.8% pour l'Europe à 2,9 % pour l'Amérique latine.

Les moyennes masquent de grandes amplitudes de variations.

Ainsi le taux d'accroissement pour les scandinaves est de 0,6 % alors qu'il est de 1,8 pour la Chine, 2,6 pour l'Inde, 2,7 pour l'Egypte, 2,9 pour l'Indonésie et le Brésil, 3 pour le Maroc, 3,5 pour l'Algérie et la Colombie.

Or, au taux de 3,5 % l'an une population double en vingt ans et au taux de 1 %, en 70 ans.

On peut prédire qu'au tournant du siècle et du millénaire, la population mondiale sera de 6 100 millions d'habitants. C'est l'hypothèse moyenne des Nations Unies, les hypothèses extrêmes étant de 5,5 et 7 milliards.

Cette population se répartira comme suit :

- 1 250 millions dans les pays développés
- 4 850 millions (soit 80 %) dans le Tiers-Monde

TABLEAU I
Quelques statistiques vitales

	Population 1970	Période 1965-1970		
		Taux accrois- sement %	Natalité %	Mortalité %
Ensemble du monde	3 632	2	34	14
Ensemble pays sous-dévelop. (1)	2 562	2,6	42	15-25
Ensemble pays développés (2) ..	1 070	0,8	18	10
Afrique	344	2,6	46	20
Asie (3)	2 056	2,3	38	15
Amérique Latine	283	2,9	39	12
Amérique du Nord (4)	228	2,1 ⁽⁵⁾	30	10
Europe (3)	462	0,8	18	10
U.R.S.S.	243	0,9	18	10
Océanie	19,4	2	24	10

(1) Afrique + Asie + Amérique Latine (non compris l'Union Sud-Africaine et le Japon)

(2) Europe + U.R.S.S. + Océanie + U.S.A. et Canada

(3) non compris l'U.R.S.S.

(4) y compris Hawaï

(5) y compris l'immigration

Il est intéressant de signaler que dans le Tiers-Monde, la population au-dessous de 20 ans représente 55 % du total contre 30 à 35% ailleurs.

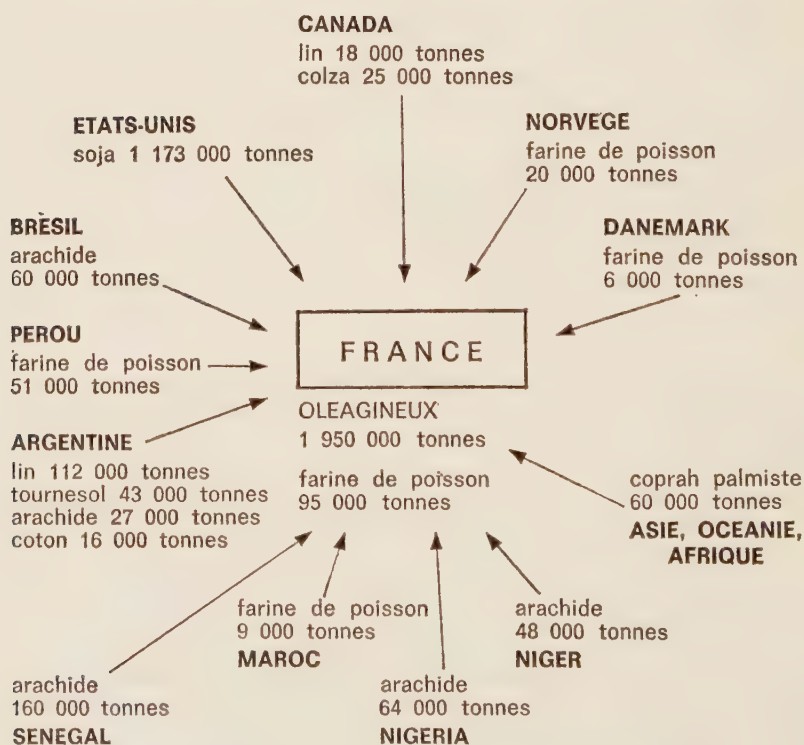
II. — BESOINS EN PROTEINES

En 1971, 70 % de la population mondiale avait une alimentation insuffisante. Il est intéressant de comparer ce chiffre de 70 % avec le pourcentage de la population du Tiers-Monde à la même date. Pour les pays du Tiers-Monde, les instances internationales évaluent à plusieurs millions de tonnes le déficit annuel en protéines. Or en l'an 2000, il faudrait que la production annuelle

de protéines soit de 60 millions de tonnes, c'est-à-dire plus du double de la production actuelle pour satisfaire les besoins mondiaux.

L'étude de la situation démographique et des besoins mondiaux en protéines, nous permet de voir que la carence en protéine est énorme et qu'elle est particulièrement importante dans les pays en voie de développement. Si le problème se pose d'une manière aiguë dans les pays du Tiers-Monde, les pays industrialisés n'en sont pas pour autant épargnés. En ce qui concerne les pays industrialisés, nous pouvons prendre comme exemple la France. En effet, en France comme dans les autres pays d'Europe, l'accroissement des besoins en viande est tellement considérable que le développement spectaculaire de l'élevage intensif de porcs et de volailles au cours de ces dernières années n'a pas suffi à les satisfaire.

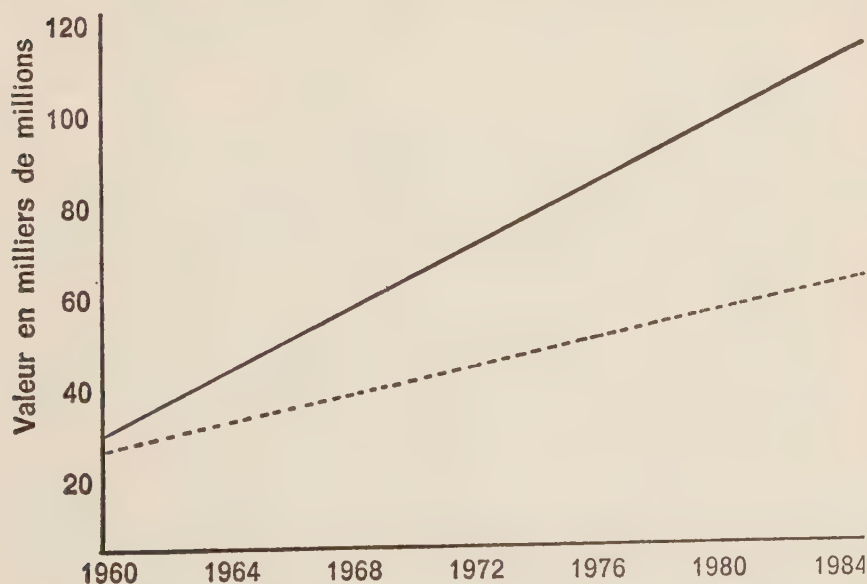
Importation de protéines en France pour l'alimentation



La France « grand pays agricole » importe, en valeur, presque autant d'animaux et de viande qu'elle exporte de voitures dans les pays du Marché commun. De plus, il existe un cercle vicieux présent dans le monde entier, tous les animaux qui représentent pour l'homme la source principale de protéines de haute valeur biologique, sont eux-mêmes de grands consommateurs de protéines. Ces protéines leur sont fournies dans leur alimentation par les tourteaux d'oléagineux (soja en provenance des Etats-Unis notamment) et de farines animales (farines de poissons, Pérou, Norvège...) compléments indispensables des céréales.

Toutes ces données nous démontrent, s'il en était besoin, que les besoins protéiques seront gigantesques dans quelques années.

Les ressources à l'heure actuelle, étant déjà nettement insuffisantes, il sera difficile, autant dire impossible de répondre aux demandes futures avec les sources classiques de protéines. Il est donc impératif de trouver de nouvelles sources, c'est d'ailleurs le problème crucial qu'ont à résoudre les responsables qu'ils soient politiques, économistes, sociologues ou techniciens.



La demande est supérieure à la production et cette différence ne cessera d'augmenter au cours des années à venir, si l'on ne trouve pas une nouvelle source.

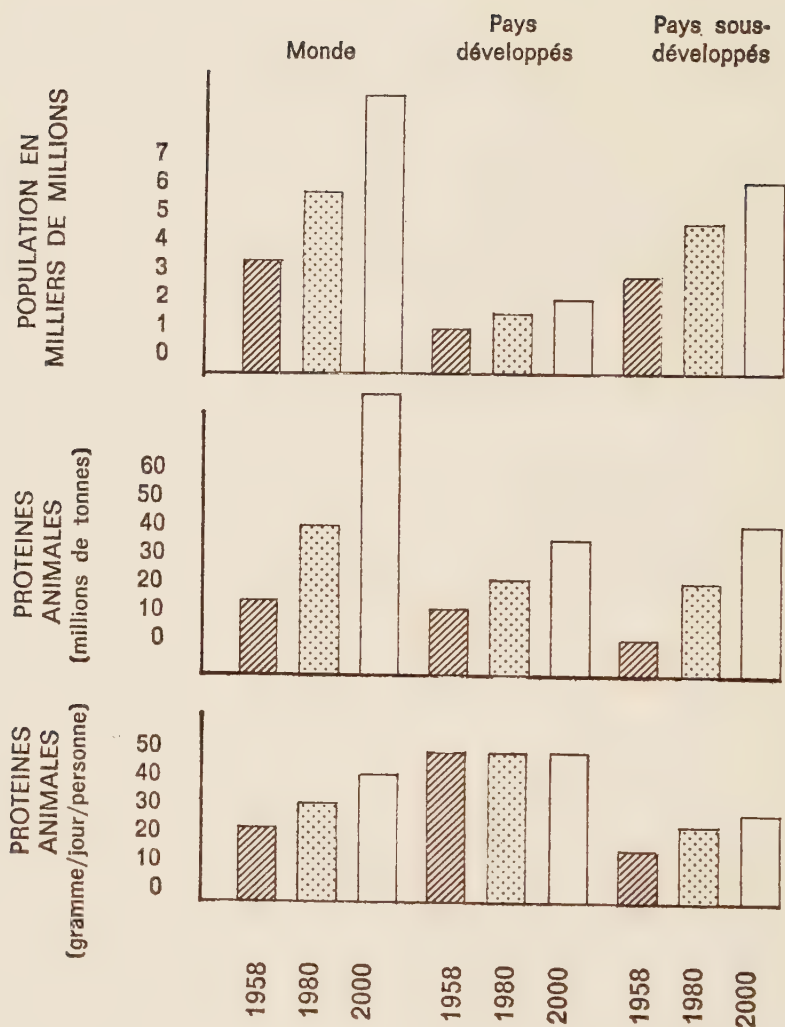


Figure relevée dans « las ciencias »

La partie supérieure de la figure représente la population mondiale, la population des pays développés et celle des pays sous-développés en 1958, 1980, et 2000.

La partie moyenne : la production mondiale de protéines aux mêmes dates et aux mêmes endroits.

La partie inférieure : consommation journalière de protéines animales par jour et par personne aux mêmes dates et dans les mêmes pays.

ANALYSE DE L'OFFRE ET DE LA DEMANDE ALIMENTAIRES (Tiers-Monde hormis la Chine continentale)

Tableau fait en 1969 par la F.A.O.

Population en millions	1962 : Offre		1985 : Demande		Accroissement requis	Couverture de la demande	Déficit
	par habitant en kg/an	globale en 10 ³ tonnes	par habitant en kg/an	globale en 10 ³ tonnes			
1962 1 200							
1985 2 200							
Céréales : riz	76,7	92 040	86	189 200	97 160	100	—
blé	36,6	43 920	42	92 400	48 480	100	—
autres	52,3	62 860	54,8	120 560	57 700	98	—
Aliments féculents	65,9	79 080	68,2	150 040	70 960	100	—
Légumineuses, noix	20,8	24 960	25,1	55 220	30 260	100	—
Viandes, produits animaux	12,1	14 520	17,1	37 620	23 100	82	6 770
Œufs	1,1	1 320	1,8	3 960	2 640	94	2 376
Poissons, crustacés	5,6	6 720	9,7	21 340	14 620	75	5 336
Laits , dérivés (entiers)	35,9	43 080	55,5	122 100	79 020	70	36 630
Laits, dérivés (écrémés)	8,5	10 250	13,9	30 580	20 330	73	8 250

Protéines : disponibilités, besoins, objectifs.

(pays en voie de développement) par habitant et par jour
à l'année de base 1965

	Disponibilités	Besoins — P —	Besoins réels — O —
	1965	1965	1965
Extrême-Orient	54,8	59	68
Proche et Moyen-Orient	71,6	72	77
Afrique	58,5	62	69
Amérique Latine	67,6	68	71
Ensemble Tiers-Monde	57,6	61	69
Ensemble Monde développé	89,1	89	89

Besoins - P : le besoin pratique est le besoin moyen majoré de 20% pour tenir compte des variabilités.

Besoins réels - O : besoins établis de façon à améliorer également la qualité de l'alimentation et à remonter le pourcentage des calories d'origine protéique à un niveau de 10 à 12 %.

Approvisionnements protéiques (1962-1965) en 10 tonnes

	Céréales	Graines de légu- mineuses	Produits animaux	TOTAL	Population (millions)
Pays développés	43	3	22	68	900
Pays en voie de développement	27	3,5	8,5	39	1 600
TOTAL	70	6,5	30,5	117	2 500
Rapport Pays en voie de développement	2	2	1	1	
Pays développés	5	3	4,5	3	

PREMIERE PARTIE

I. — MANIFESTATIONS CLINIQUES DES CARENCES EN PROTIDES

La carence en protides, dans le Tiers-Monde est une cause de mortalité importante surtout lors du sevrage. Les chiffres suivants le montrent bien.

La mortalité infantile entre 1 et 4 ans est de 25 0/00 en Ethiopie, 60 0/00 au Guatemala, contre 8 0/00 au Japon et 2 0/00 en Suède.

A — LE KWASHIORKOR

Le kwashiorkor, « reste le problème de nutrition no 1 des temps modernes » (Autret) : il s'agit d'un syndrome très répandu dans tous les territoires tropicaux et subtropicaux où l'alimentation est pauvre en protéines animales. Il repose essentiellement sur une carence protidique. Il fut identifié et décrit par Cicely Williams au Ghana en 1931. Ce nom était utilisé par le peuple Ga, qui connaissait bien cette maladie.

Le kwashiorkor est une carence protéique chez un individu en croissance qui reçoit un apport énergétique suffisant.

Dans d'autres pays du monde une même symptomatologie est désignée par des vocables différents, par exemple :

- bouffissure d'Annam, au Viet-Nam ;
- syndrome pluri-carentiel infantile en Amérique Centrale et du Sud.

Le Kwashiorkor atteint l'enfant à la période de sevrage, vers l'âge de 2 ans. En effet, dans ces pays, l'allaitement maternel se poursuit jusqu'à l'âge de 2 ans.

Dès le sevrage, l'enfant reçoit une alimentation presque exclusivement composée de farineux : orge, patates, millet, maïs, manioc... c'est-à-dire que cette alimentation est essentiellement glucidique.

Durant l'allaitement, l'enfant est dans un état de précarance, car la mère est victime d'une carence protidique.

Le sevrage entraîne une brusque décompensation de cet état précarentiel.

Sur le plan clinique, le tableau de la période d'état se constitue très rapidement :

- 1) L'œdème qui masque la fonte musculaire. Il apparaît au dos des pieds et aux paupières, puis il s'étend progressivement aux membres inférieurs. On parle de « faciès

- lunaire » en raison de l'œdème des paupières et de l'hypertrophie des parotites. Il s'agit d'une parotite « de carence azotée élective » s'installant tardivement mais de façon très rapide lors des malnutritions protidiques.
- 2) retard de croissance avec gros retard pondéral. Un enfant de deux ans peut peser 4 kg. Jones et Dean ont noté également au niveau des os un défaut de calcification et une disparition de la corticale.
 - 3) troubles mentaux : ils sont dominés par l'apathie avec hostilité ou indifférence. Un enfant atteint de Kwashiorkor ne sourit jamais. L'électro-encéphalogramme montre des perturbations qui semblent réversibles lors de la guérison ;
 - 4) les lésions cutanées : Importantes et évolutives, elles représentent une « dyspigmentation ».. Au début, il s'agit d'une dépigmentation siégeant surtout aux plis de flexion, aux extrémités, aux genoux, aux coudes. Elle s'étend au tronc, à la face, aux membres qui deviennent bruns, puis café au lait. Secondairement, des zones d'hyperpigmentation apparaissent, taches noires ressemblant à des taches de vernis noir « nazy pavement dermatosis » aux fesses, au dos, dans des régions exposées au frottement. Ces taches se rejoignent par plaques, puis l'épiderme desquame formant par endroit des bulles qui s'ulcèrent et laissent à nu un derme suintant dont la surinfection est rare.
 - 5) Les lésions muqueuses ne sont pas constantes mais fréquentes. On peut voir une cheilite angulaire ; la langue est complètement lisse et décapillée.
 - 6) Les lésions des phanères : les cheveux sont décolorés, roussâtres, grisâtres, secs, défrisés et clairsemés.
 - 7) La diarrhée est épisodique ou continue ; elle est due à une insuffisance digestive et s'accompagne fréquemment d'une stéatorrhée.

Sur le plan biologique :

- Les protéines plasmatiques sont globalement abaissées. L'albumine et les B globulines sont électivement abaissées. A l'opposé, il existe une élévation des alpha 1 et surtout des alpha 2 globulines, celle des globulines se rencontre en cas de surinfection.
- L'urée et cholestérol sanguins sont abaissés.

- En ce qui concerne les acides aminés, il existe une augmentation très importante de l'excrétion des acides aminés soufrés taurine en particulier). L'excrétion accrue de ces acides aminés soufrés est la conséquence des lésions cellulaires.
- L'amylasémie est le plus souvent abaissée de même que la plupart des enzymes plasmatiques. L'anémie, en général normocytaire, rarement macrocytaire (en cas de déficit en vitamines du groupe B) est le plus souvent modérée. Monsieur Gounelle a étudié le métabolisme de la vitamine A : il existe un stockage hépatique excessif avec baisse du taux plasmatique.

Anatomie pathologique

- Au niveau du foie, la lésion essentielle est la stéatose hépatique dont les ponctions biopsies ont permis de suivre les différents stades de constitution, depuis la présence de fines et rares vacuoles lipidiques intra-cellulaires jusqu'à la fusion de plusieurs hépatocytes et kystes graisseux. Des enquêtes ont montré que ces lésions peuvent débiter durant la vie intra-utérine lorsque la mère subit une carence en protéines. Cette stéatose régresse lors du traitement.
- Au niveau du pancréas exocrine, il existe une dégénérescence associant une atrophie des acini avec perte des grains zymogènes et une sclérose réalisant une véritable cirrhose.

EVOLUTION

- Le pronostic est très sévère et la mortalité peut atteindre 80 à 90 %.
- Si le traitement est précoce, il existe à l'inverse 90 % de succès, malheureusement, il existe un stade irréversible de la maladie, et si le traitement est entrepris trop tardivement, l'évolution se fait inexorablement vers la mort.

Nous pouvons également faire un bref rappel du marasme qui peut, dans certains cas, être l'ultime stade évolutif du Kwashiorkor.

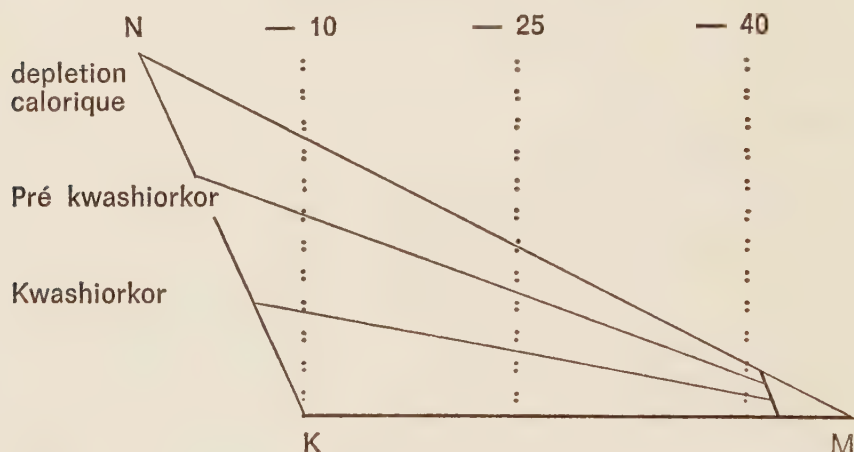
Nous définirons tout d'abord Marasme par opposition au Kwashiorkor.

« MARASME »

On parle de marasme pour des enfants dont les réserves protidiques et énergétiques sont totalement épurées. C'est le terme final d'une insuffisance simultanée en protéines et en calories.

Le marasme se différencie du Kwashiorkor par le fait même qu'il s'y associe un déficit calorique en plus du déficit protéique.

Mais le passage du Kwashiorkor au marasme peut se faire facilement lors d'une surinfection.



Légende :

en abscisse : depletion calorique

en ordonnées : depletion protidique

— 10, — 25, — 40 pourcentages de diminution pondérale

(Les tableaux ou opérations seront donnés ultérieurement)

Sur le plan clinique, le tableau du marasme est très différent de celui du Kwashiorkor :

Il n'existe pas d'œdèmes, l'enfant a l'aspect d'un vieillard ridé, amaigri et asthénique. Au terme ultime de l'évolution, il semble « un mort vivant ».

Nous avons vu ici les deux extrêmes, mais il existe des intermédiaires entre marasme et kwashiorkor. Il faut également signaler que dans les « pays dits développés », on peut observer dans certains cas, chez les nourrissons, un syndrome voisin du kwashiorkor. Mais ceci peut se voir dans des cas bien particuliers :

- régimes déséquilibrés au profit des glucides ;
- dyspepsie des farineux

lors du traitement de certaines toxicoses par exclusion abusive des protéines.

B — MANIFESTATIONS CLINIQUES DES CARENCES EN PROTIDES CHEZ L'ADULTE

Les signes de malnutrition chez l'adulte sont par certains points différents de ceux du kwashiorkor par le fait même que cette malnutrition frappe un organisme adulte et non pas un organisme en pleine croissance.

Les signes cliniques et paracliniques ont pu être étudiés chez les déportés, les asilaires des temps passés (qui ne sont pas très lointains d'ailleurs) et chez les vieillards.

Nous verrons dans le chapitre suivant que ces signes peuvent être retrouvés au cours des affections entraînant une malabsorption.

Signes généraux

- **L'asthénie** est d'après Tremolières « Le premier signe et le plus constant des signes fonctionnels de malnutrition ». C'est une fatigabilité comparable à celle des addisoniens.
- **L'anorexie** s'explique, lorsqu'elle existe, par l'atonie digestive, motrice et sécrétrice. Il existe, en effet, une hypochlorrydrie et une hypopepsie.
- **L'amaigrissement** est le symptôme majeur. Il pourra dans certains cas être masqué par un œdème de carence.
- L'atteinte du squelette porte sur la trame protidique. On peut observer les pseudo-fractures de Milkman, surtout chez la femme.

Signes cliniques

La langue peut être normale et ne présenter des troubles que lors de la réalimentation. En général, dans une malnutrition sérieuse, les papilles sont atrophiques, la langue est pâle, paraît lisse, le plus souvent sur les bords, parfois seulement au centre et à un stade plus accentué sur toute sa surface. Dans les malnutritions très graves, la muqueuse devient fine, crevassée, rouge « Magenta ». La peau est mince, sèche, trop ample. Parfois, dans les formes sévères, elle garde le godet ou seulement les plis du drap témoignant d'un œdème dis-

cret. Le faciès est typique. Le regard paraît brillant, lointain, profond dans une face dont la mimique est réduite. Le visage est souvent pigmenté, surtout sur le front et les ailes du nez. La pigmentation a des contours assez nets. La perlèche est fréquente, les conjonctives sont pâles. Dans les formes sévères, le pouls est lent, entre 50 et 60, la tension artérielle basse. On peut, dans certains cas, observer une parotidite identique à celle décrite dans le kwashiorkor.

Signes fonctionnels

Des constipations peuvent se voir, mais le plus souvent il existe des diarrhées qui peuvent être dues soit à une infection intercurrente, soit à l'hypochlorhydrie gastrique.

Sur le plan endocrinien

Il existe un hypofonctionnement de la glande thyroïde avec sur le plan anatomopathologique une hypoplasie épithéliale. La malnutrition retentit de façon constante et importante sur le fonctionnement des gonades. Il existe d'une manière générale une perte de l'appétit sexuel. On note, chez l'homme, une perte de la libido et une absence d'éjaculation, et chez la femme une amenorrhée et une frigidité. Il est souvent difficile de faire la part de ce qui peut être rattaché à l'atteinte des gonades dans les modifications du psychisme. La fréquence pendant les périodes d'occupation et chez les déportés des amenorrhées dites « de guerre », ne relevant pas d'atteinte locale est indiscutable. Enfin, il existe un hypopituitarisme fonctionnel.

Signes biologiques

La base des troubles biologiques est un accroissement relatif des espaces extracellulaires, une réduction de la masse protéique proportionnelle à la perte de poids. La masse des globules rouges est réduite proportionnellement à la masse active.

- Les tubages montrent une hypochlorhydrie et une hypopepsie.
- Chez l'adulte, l'hypoprotéïnémie est plus rare que chez l'enfant. La protéinémie peut même être normale et ne doit pas infirmer le diagnostic.

- Le taux de l'hémoglobine constitue un des index les plus sensibles. Un abaissement du nombre des globules rouges au-dessous de 3,9 millions/mm³ chez l'homme et 3,7 millions/mm³ chez la femme indique une dénutrition sérieuse.
- Dans les cas sévères, on peut avoir des hyponatrémies dues soit à des pertes sodiques par diarrhées, soit à la seule dénutrition.
- Le taux des stéroïdes urinaires peut atteindre des taux de l'ordre de ceux de l'insuffisance surrénale.
L'existence de tous les signes groupés ou de quelques-uns seulement est fonction de l'importance de la malnutrition et de sa durée.

Il est intéressant ici d'étudier les séquelles nerveuses de la déportation. En effet, pour certains auteurs, elles sont dues à la carence alimentaire.

Ces séquelles nerveuses peuvent être d'apparition précoce, mais elles sont le plus souvent d'apparition tardive, huit, dix ans après le retour des déportés. Certains malades ne manifestent aucune tendance à la guérison.

- Les psychoses majeures (paranoïa, schizophrénie) sont rares.

L'école norvégienne, groupée autour de Lonnum, de Strom et de Rogan a étudié surtout les lésions anatomiques observées chez d'anciens déportés. Tout d'abord, elle a constaté 23 cas de lésions de l'artère vertébrale chez des sujets ayant eu un traumatisme cervical important dans leurs antécédents.

Explorant par l'encéphalographie gazeuse les ventricules cérébraux, ces auteurs ont noté que chez la moitié des grands asthéniques de déportation, ces ventricules étaient dilatés.

Pour les auteurs norvégiens, il s'agit d'une véritable méningo-encéphalopathie diffuse progressive et à caractère dégénératif.

MM. Richet et Mans considèrent volontiers ces altérations comme dépendant d'une nourriture carencée (communication du 22 janvier 1963 à l'Académie nationale de médecine).

Cliniquement, Rogan constate que chez plus de 8 pour 100 des anciens déportés, il y a eu à leur retour diminution de travail et dans 12 % de ces cas, cette asthénie est apparue après 1950. Pour Strom, ces états de dépression et d'asthénie se sont exagérés à partir de 1957.

Il existe même une évolution de la force intellectuelle, admettent les Allemands, puisque Paud Helmut, de Cologne, mesurant, d'après l'échelle dite de Weschler Bellevue, la baisse intellectuelle, constate, sur 1/5 des anciens détenus de ces camps, une baisse de 20 %.

Toutes les formes de psychasthénie existent, ébauchées chez certains et n'étant qu'une simple paresse pathologique, mais chez d'autres, elle aboutit à un effondrement subtotal de la volonté, du caractère et de l'activité.

C — FORMES CLINIQUES

Ce chapitre sera court, car il traite des malnutritions protidiques survenant chez des sujets ayant une alimentation normale en protéines mais présentant une malabsorption.

Les aspects cliniques de ces malabsorptions sont très variables, allant de l'asthénie, l'anorexie et l'amaigrissement à un tableau proche du kwashiorkor.

Les affections responsables de ces troubles sont les suivantes :

1) La gastrectomie

La gastrectomie réalise un court-circuit. Les techniques chirurgicales excluant le circuit duodénal induiraient plus fréquemment une malnutrition que les autres.

Le métabolisme protidique est perturbé en raison d'un défaut d'absorption de grosses molécules protidiques entraînant une malnutrition protidique.

En effet, 20 % seulement des gastrectomisés ont un métabolisme protidique normal, par contre 25 % ont de graves perturbations. Pour Trémolières « Le dumping syndrome » est un syndrome de malnutrition plus qu'une cause, car le dumping syndrome existe chez des malades malnutris qui n'ont pas subi de gastrectomie. Chez les gastrectomisés, il se constitue un cercle pernicieux : la mauvaise digestion qui en résulte entraînant l'insuffisance pancréatique qu'aggrave le mal, entraînant à son tour la stéatose hépatique et l'hypoprotidémie.

2 Les courts-circuits gastrocoliques

L'intestin grêle est exclu du circuit digestif :

- soit spontanément : ulcère récidivant post opératoire en ulcère térébrant ou cancer gastrique réalisant une fistule gastro colique,
- soit chirurgicalement : au cours de la gastro iléostomie par erreur. Il s'agit d'un trouble de l'absorption dans lequel s'associent :
- la réduction quasi complète de la surface absorbante,
- l'absence de sécrétions intestinales,
- l'irritation du grêle par les regurgitations coliques.

4) Les malabsorptions d'origine intestinale

Elles associent une malabsorption lipidique à la malabsorption protidique.

Le grand syndrome nutritionnel des maladies du grêle repose sur un défaut d'absorption intestinale provoqué :

- soit par une réduction de la surface absorbante,
- soit par un blocage de chylifères,
- soit par un trouble cellulaire fonctionnel ou anatomique qui s'oppose au franchissement de la barrière intestinale.

II. — ETUDES EXPERIMENTALES CHEZ L'ANIMAL CARENCE EN PROTIDES

A — SUR LE PLAN HISTOLOGIQUE ET CYTOCHIMIQUE

Plusieurs expériences ont été faites sur les modifications histologiques et cytochimiques de certains organes au cours des régimes hypoprotidiques.

Nous en avons relevé un certain nombre qui apporteront des éléments très importants pour cette thèse.

a) Expérience faite par le professeur Jean Verne en 1953 :

« Les stigmates cytologiques et cytochimiques de la carence azotée ».

Les recherches pratiquées ont été réalisées en obtenant la carence en protides par les régimes suivant sur le rat blanc :

1) Suppression de tous protides

Les animaux reçoivent du lard, du sucre et des vitamines

2) Régime de Muro Chalmers (1945)

Amidon de pommes de terre : 23 parties

Amidon de riz : 52 parties

Sucre : 10 parties

Margarine : 10 parties

Mélange salin de Laurico : 5 parties

Un tel régime contient pour 100 g, 45 mg d'azote

Les résultats obtenus sont les suivants :

1) au niveau du foie

Les lésions sont de beaucoup les plus marquées, il y a une augmentation des lipides, on observe une surcharge et parfois même une dégénérescence graisseuse. Il y a également une diminution de l'acide ribonucléique et une hypertrophie nucléolaire au niveau des cellules.

2) au niveau du pancréas

Les cellules acineuses deviennent dégranulées et collabées. L'activité esterasique et lipasique persiste après disparition des grains de sécrétion, puis elle s'atténue. Il existe

une hypertrophie nucléolaire au niveau des cellules. Les îlots de Langerhans, présentent une diminution du nombre et une disparition des cellules A. D'après cette expérience, ce phénomène accompagne généralement l'engraissement du cortex surrénal et de la cellule hépatique.

- 3) Par ailleurs, on note un arrêt de la croissance du cartilage chez l'animal jeune, et sa transformation en tissu osseux. Il se produit de plus, une anémie et une diminution du nombre des divers leucocytes avec atrophie du tissu lymphoïde et de la moelle osseuse. La spermatogénèse et l'activité estérasique des cellules interstitielles des testicules sont ralenties, puis supprimées. L'activité enzymatique décelable cytochimiquement dans d'autres organes est généralement diminuée. En opposition avec toutes ces modifications, les cellules nerveuses ne présentent pas de troubles décelables, en particulier leur charge en acide ribonucléique demeure constante.

Il est intéressant de rapprocher un certain nombre des images que nous venons de décrire de celles qui ont été signalées à la suite de la dénutrition, après gastrectomie par ulcère. Comme nous l'avons vu plus haut, la dénutrition par gastrectomie peut être ramenée à une mauvaise utilisation des protides, comme le révèle l'hypoprotidémie. Les stigmates communs retrouvés sont la stéatose hépatique, les lésions pancréatiques, la diminution ou la disparition des cellules A dans les îlots de Langerhans, l'anémie, la réduction de l'activité testiculaire.

Conclusion

On a signalé chez les dénutris par gastrectomie une diminution de l'activité du cortex surrénal et de la production des hormones androgènes qui sont certainement en rapport avec des images histologiques comparables à celles décrites chez les rats en régime hypoprotidique.

b) D'autres expériences faites par le Professeur Verne avec la collaboration de Mme Hébert et de Mlle Barbarin en 1954 « les modifications cytologiques du pancréas et du foie et la cytochimie des estérases au cours des carences protidiques ». Les expériences ont été faites avec deux lots de rats soumis aux mêmes régimes que précédemment. Les deux régimes ont donné des résultats comparables.

Ces expériences ont confirmé les expériences de 1953 et ont montré que l'atteinte pancréatique est la première.

- 1) Tout d'abord, le pancréas exocrine (Transformation des cellules acineuses) puis le pancréas endocrine est tou-

ché. Chez le rat normal, la proportion des cellules A par rapport aux cellules B est d'environ 20 pour 80. Chez les animaux carencés en protides, les cellules A diminuent de nombre et peuvent même disparaître. Ces images sont tout à fait différentes de celles observées chez les rats soumis à un jeûne total dont le pancréas présente une polynésie et une augmentation des cellules A.

- 2) Les modifications hépatiques (Steatose et augmentation de volume du nucléole) surviennent après les modifications pancréatiques.
- 3) La stéatose au niveau de la surrénale survient également après l'atteinte pancréatique et simultanément à l'atteinte hépatique.
- 4) Il se produit chez les animaux en carence protidique, une diminution ou une suppression des activités estérases (révélées par la cytochimie) également au niveau d'autres organes tels que : intestin (diminution en intensité de l'activité estérase dans les cellules à plateau strié) et testicule (dégénérescence des tubes séminifères, disparition de l'activité estérase des cellules interstitielles).

c) Une expérience pratiquée en 1966 par le Professeur Verne et Mme Hébert : « Retentissement d'un régime hypoprotidique sur le pancréas et l'absorption intestinale du fer ».

Cette expérience a apporté de nouveaux éléments constatés au cours des hypoprotidémies provoquées.

- 1) La carence en protéines entraîne la régression des acini pancréatiques d'où résulte l'augmentation de l'absorption du fer visible dans les villosités intestinales. D'ailleurs, Aschkenazy (1962) étudiant l'incorporation du fer marqué dans les hématies chez les rats carencés en protides a observé l'accumulation de ce fer dans le foie de ces animaux. La disparition de l'activité phosphatase alcaline dans le plateau strié des entérocytes de l'extrémité supérieure des villosités intestinales où s'accumule le composé protéique du fer est à noter.
- 2) Sur le plan du pancréas endocrine on note la mise au repos des cellules A et la disparition du tryptophane nécessaire à la formation du glucagon n'est libéré des matières protéiques que par l'action du suc pancréatique. En l'absence de ce suc, le tryptophane non libéré

ne peut être absorbé. Ainsi, une longue période de carence protéique entraîne un appauvrissement de l'organisme en tryptophane, qui disparaît des cellules A comme des grains de zymogène des cellules acineuses.

d) Une nouvelle expérience a été pratiquée par le professeur Verne en 1970 concernant « L'action du tryptophane sur les cellules A des îlots de Langerhans des cobayes en régime hypoprotidique ». Nous avons vu dans les expériences précédentes, qu'en régime hypoprotidique, le tryptophane n'est pas libéré et ne peut donc être absorbé. On observe également une régression des cellules A des îlots de Langerhans et une disparition du tryptophane.

Par ailleurs, chez les cobayes carencés remis à un régime protéique normal, le pancréas, exocrine comme endocrine, reprend son aspect normal.

Par cette expérience on voulait voir l'action sur le pancréas de l'addition du seul tryptophane à un régime hypoprotidique.

Conditions d'expérience :

Cobayes des deux sexes, de 650 grs, soumis à un régime hypoprotidique comportant seulement 8% de substances protéiques brutes mais équilibré en glucides, lipides, vitamines et substances minérales.

Après des périodes de régime variant de trois semaines à deux mois, nous avons administré du C tryptophane par la bouche à la dose quotidienne de 0,50 grs de C tryptophane pendant des périodes de quinze jours à trois semaines.

Résultats

1) Pancréas :

L'aspect des acini exocrines est comparable à celui des animaux carencés. Au niveau du pancréas endocrine, il existe une augmentation de la masse du tissu et surtout les cellules A reprennent leur aspect normal dans un délai assez court. La réaction du tryptophane est nettement positive.

2) Intestin grêle :

Nous avons vu que chez les cobayes en carence protidique il existe une surcharge en fer visible en particulier

à l'extrémité libre des villosités intestinales. L'addition du tryptophane au régime hypoprotidique n'apporte aucune correction à ces phénomènes. Par ailleurs on ne note aucune augmentation du poids total de l'animal.

En conclusion, l'adjonction de tryptophane à un régime hypoprotidique n'agit que sur les cellules A des îlots de Langerhans.

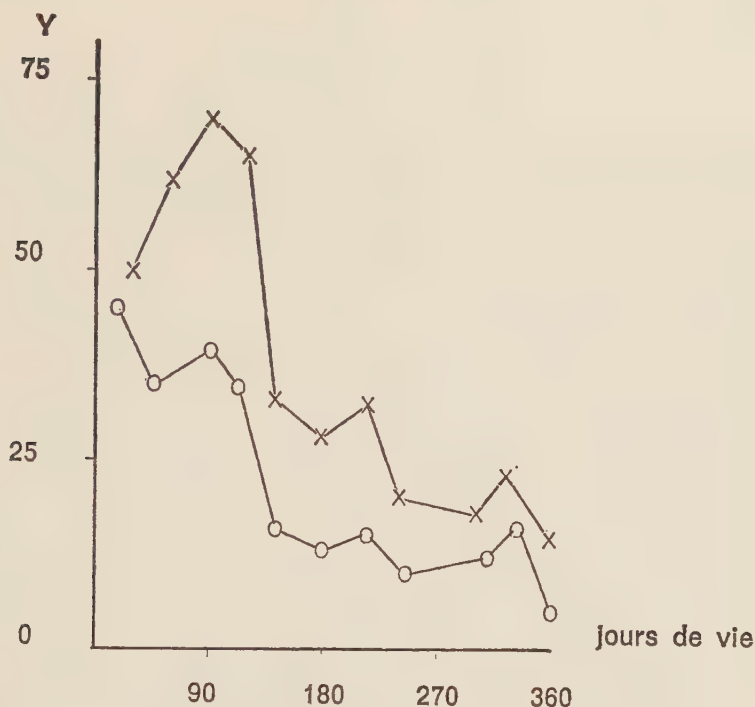
e) A. Aschkenasy a étudié dans une série de publications (de 1947 à 1972) l'action chez le rat, de la carence en protides sur les éléments figurés du sang, en particulier sur l'importante leucopénie qui concerne surtout les éosinophiles et les lymphocytes sanguins. Il a également mis en évidence, dans ces processus, le rôle des différentes glandes endocrines et leur retentissement sur les réactions immunitaires (atrophie du thymus).

B — SUR LE PLAN GENERAL

Une expérimentation a été faite sur le développement mental et le comportement des rats soumis à une sous-alimentation protéinique par Mme Slavka Frankova. Cette sous-alimentation protéinique est appliquée à des phases précoces, durant la vie intra-utérine, c'est-à-dire que l'on soumet la mère à un régime hypoprotéique durant la gestation. Les réactions des jeunes rats soumis à cette malnutrition sont très différentes de celles des rats nourris normalement :

- 1) L'activité spontanée et l'activité de recherche orientative dans un milieu nouveau sont nettement diminuées. Cette activité est d'autant plus diminuée lorsque l'animal se trouve dans un milieu habituel. Si l'on soumet cet animal à des stimuli inhabituels, son comportement se modifie et il réagit. Toutefois, il faut souligner que les réactions adéquates font défaut si l'on soumet cet animal à des tâches plus compliquées. Mais on doit noter dans tous les cas que la valeur stimulative du milieu extérieur possède en général un effet positif sur le développement du système nerveux central et qu'une quantité accrue d'expériences sensorielles peut, de cette façon, modifier l'effet de l'alimentation précoce.

Y : quantité moyenne des réactions d'érection dans des tests de dix minutes dans un nouveau milieu.



Dynamisme de l'activité de recherche au cours de la première année de vie chez des rats mâles

X : groupe de contrôle (régime standard)

O : groupe d'expérimentation (malnutrition)

On peut rapprocher de cette expérience les observations faites par de nombreuses équipes médicales concernant le comportement de jeunes enfants ayant subi et subissant une malnutrition protéique. Ce comportement est d'ailleurs analogue au comportement d'enfants atteints de kwashiorkor.

Il existe une apathie, une agressivité, une irritabilité, une labilité émotionnelle et un manque de motivation à l'activité (Trowell et collaborateurs - 1964).

Le manque d'intérêt porté au milieu environnant représente probablement le trait le plus caractéristique du comportement des enfants malnutris et par contre les premières manifestations de curiosité au cours de la réalimentation correcte indique le succès thérapeutique plus tôt que ne se régularisent les symptômes somatiques.

DEUXIEME PARTIE

SOURCES DE PROTIDES

Dans le cahier n° 2 d'une série de publications consacrées aux protéines, R. Jacquet et M. Vigneron ont exposé, avec une très importante documentation, quels étaient, dans différentes conditions physiologiques, chez les hommes et les animaux supérieurs, les besoins quantitatifs et qualitatifs d'azote pour mettre en valeur le rôle des amino acides.

Pour plus de détails, nous renvoyons à cette publication, qui contient également l'historique des étapes de la connaissance du rôle de l'azote dans l'alimentation.

A — BESOINS REELS EN PROTIDES

Nous ferons tout d'abord un bref rappel des besoins protéiques quotidiens de chaque personne :

a) le besoin azoté minimum théorique

(protide : 0,30 à 0,35 g/kg/24 h)

Cette quantité équilibre la balance azotée si le régime apporte un nombre suffisant de calories par les lipides et les glucides, mais il ne maintient ni le poids ni la résistance organique.

b) le besoin azoté minimum d'entretien

(1 g/kg/24 h)

assure l'équilibre azoté et physiologique.

c) le besoin azoté optimum physiologique

(1,4 g/kg/24 soit 100 g/24 heures)

représentant 11 à 15% de la ration calorique globale.

Les enquêtes des comités F.A.O. et O.M.S. dans les pays sous-développés ont montré que le taux de 11% est la limite inférieure de ce qui est tolérable.

Il faut noter un point très important concernant le besoin du nourrisson en protéines. Ce besoin est de 2,5 g/kg et par 24 heures. Ce besoin diminue au fur et à mesure de la croissance pour se rapprocher de celui de l'adulte.

Qualitativement une trentaine d'acides aminés

NH₂

R - CO

C 00 H

diversement combinés sont à l'origine des protéines. Mais dix d'entr'eux sont indispensables, car l'organisme humain ne peut en réaliser la synthèse. Les acides aminés essentiels sont les suivants : arginine, histidine, isoleucine, leucine, lysine, méthionine, phenylalanine, thréonine, tryptophane, valine.

La « valeur biologique » des protéines dépend de la teneur de ces protéines en acides aminés essentiels, indispensables. Le « facteur limitant d'utilisation » d'une protéine dépend de la variation de taux d'un acide aminé ou même de son absence dans cette protéine.

Ainsi, on distingue les protéines d'origine animale (œufs, viandes, poissons, lait et fromages) dont la valeur biologique est élevée, car elles apportent tous les acides aminés indispensables et les protéines d'origine végétale (céréales, légumineuses) qui ne les apportent pas en totalité. La valeur biologique des protides animaux est de 20 à 30% supérieure à celle des végétaux. Un risque de malnutrition protidique existe en deçà de 20 g de protéines animales par jour. Il n'est pas certain que l'homme puisse pendant plusieurs générations vivre s'il ne lui est fourni que des protides végétaux. Les protéines qui sont des corps de haute valeur biologique (les végétaux qui en contiennent et les tissus animaux) sont les plus coûteuses, les plus recherchées, les plus appréciées.

B — SOURCES DE PROTEINES

I — Sources classiques

a) Protéines d'origines végétales

1. — LES CEREALES

Les céréales, aliments de base pour 94% de la population du Tiers-Monde constituent le plus important contributeur à l'apport protéique :

Amérique Latine	45%	Europe Orientale	55%
Afrique Noire	55%	Europe Occidentale	33%
Chine Continentale	60%	U.S.A., Canada	18%
Inde, Pakistan, Ceylan	68%	Régions développées	32%
Proche Orient	68%	Tiers Monde	57%
Afrique du Nord	70%		

La première méthode pour accroître les disponibilités en protéines dans les pays du Tiers Monde où la couverture du besoin calorique n'est pas réalisée, consiste à accroître la production des céréales.

Mais si la production de céréales croissait seulement au rythme observé au cours de la décennie 1955-1965, soit 3% et si les importations continuaient au rythme observé au cours des plus récentes années (11% en Asie, 9% en Afrique-du-Nord et Proche-Orient), ce serait respectivement 70 et 22 millions de tonnes de céréales que ces deux régions devraient importer chaque année, vers 1985 pour couvrir leur déficit, soit une saignée de 7 milliards et demi de dollars.

Si la production des céréales devait rester ce qu'elle était en 1965, ce sont 68 et 28 millions d'hectares de plus que ces deux régions (Asie et Afrique-du-Nord) devraient mettre en culture avant 1985, soit 50% de 100% de plus qu'aujourd'hui. De telles superficies n'existent pas dans les régions surpeuplées d'Asie ou arides du Proche-Orient. La seule solution est donc dans l'accroissement des rendements. D'où les efforts nécessaires pour créer et diffuser des variétés de céréales à haut rendement.

Des travaux sont en cours pour obtenir des variétés à haute teneur en protéines 12 à 15% au lieu de 9 à 11%. Mais les protéines de céréales sont de qualité moyenne ou médiocre, aussi les travaux de sélection et de génétique visent à obtenir des variétés de haute valeur biologique.

Aux U.S.A., deux variétés de maïs ont été mises au point :

- La Starea
- La Golden pro

dont la valeur biologique est de 80%. La Golden pro qui est le plus utilisé aux Etats-Unis est composé de trois « ingrédients » :

- 75% maïs
- 20% urée
- 5% amidon gélifiant

le tout est broyé et mélangé par une « extrudeuse » pour donner une pâte qui une fois séchée peut être utilisée de deux manières : comme substitut de tourteaux (surtout pour les bovins de boucherie, ou comme complément des protéines végétales, de rations fourragères ou d'ensilage (pour les vaches laitières).

L'idéal serait d'aboutir à des variétés de riz à haute teneur en protéines et de blé à protéines de haute valeur biologique, soit en maintenant les rendements de 20 à 30% supérieurs aux rendements actuels.

6% de la population mondiale ayant une alimentation à base de racines féculentes et de tubercules (ignames, nacahos, manioc, patates douces, taros), il serait intéressant d'obtenir des cultures de ces mêmes racines ayant un pourcentage de protéines plus important. Des travaux de sélection faits à Porto Rico montrent des cultures d'ignames en provenance de l'Inde et des Caraïbes qui ont de 10 à 13% de protéines contre 3 à 5% dans les variétés ordinaires.

Enrichissement des céréales en acides aminés

Puisque la lysine est le facteur limitant du blé, du sorgho et, avec le tryptophane, du maïs, des nutritionnistes ont proposé d'additionner les farines d'acides aminés obtenus par voie de synthèse biologique. L'enrichissement n'altère pas les qualités organoleptiques et boulangères des farines et il relève la qualité biologique des protéines.

II — Graines de légumineuses

Haricots, pois, pois chiches, fèves, lentilles, graines oléagineuses (soja, tournesol, coton, arachide) et noix. Elles ont la particularité de contenir 20 à 25% de protéines. Leurs protéines supplémentent celles des céréales en ce sens que leurs déficits respectifs en acides aminés se combinent mutuellement. Or, elles constituent 5,1% de l'apport protéique total en Afrique Noire, 20,3% en Chine et en Inde et 26% au Brésil. Il y a donc lieu de développer leur production et de mettre au point des variétés à haut rendement capables de lutter sur le plan de la rentabilité avec les nouvelles variétés de céréales.

Production mondiale en 1969 de graines oléagineuses et de farines de poisson en millions de tonnes.

	Production totale	Exportations
Soja	33 680	10 724
Arachide	14 100	2 513
Graines de coton	18 130	3 451
Tournesol	9 000	3 923
Coprah	3 270	943
Totaux	78 180	19 554
Equivalent en protéines	38 300	9 600
Farine de poisson	5 000	
Equivalent	3 750	

Nous insisterons plus particulièrement sur le tournesol et le soja.

a) LE TOURNESOL

La farine d'aleurone de tournesol est un résidu de l'extraction de l'huile contenu dans les fruits de cette plante. La teneur en protéines de cette farine est supérieure à 35% (lait de vache 25%, viande 19%).

Selon M. P. Rombauts, qui a consacré au tournesol un important travail, la composition de la farine fine fleur serait la suivante :

— eau	9,82
— cendres	6,97
— protides	59,5
— lipides	2,76
— glucides	14,85

En ce qui concerne les acides aminés, le facteur limitant est représenté par la lysine. Il est par ailleurs intéressant de souligner que la valeur biologique du tournesol est en moyenne de 64 (alors qu'il est de 70 pour la caséine) et que le coefficient d'utilisation protidique nette est de 88 (alors qu'il est de 90 pour le lait).

Le tournesol contient de plus du calcium, des vitamines du groupe B. Par contre, il est dépourvu de vitamines A.

La farine de tournesol est intéressante par :

- sa teneur en azote
- son équilibre en amino acides
- son rapport phosphocalcique convenable
- sa richesse en vitamine B
- sa haut digestibilité

La farine de tournesol présente, en outre, sur les aliments azotés d'origine animale un certain nombre d'avantages non négligeables et parmi ceux-ci :

- la facilité de sa conservation et de son utilisation ;
- ses qualités de digestibilité supérieures à celles de la chair musculaire ;
- son peu d'aptitude à la putréfaction ;
- la non-sensibilisation de l'organisme à son égard ;

— enfin, la modicité de son prix de revient, le gramme d'azote végétal est en effet cinq fois meilleur marché que le gramme d'azote animal.

Avec ces connaissances, il a été entrepris des essais d'utilisation du tournesol chez le nourrisson (Docteur L. Willemen Elog). Le régime suivant a été mis au point :

Crème de riz	10
Sucre	5
Malt	2,5
Tournesol salé à 2,5%	4
Eau	78,5

La valeur calorique de cette préparation est de 700 calories au litre dont les protéines fournissent 14%. Le nourrisson recevait en outre du jus de fruit et de l'huile de foie de morue en tant qu'apport en vitamine A.

Ce régime était destiné à être utilisé chez le nourrisson présentant une dyspepsie de types divers ou une hypotrophie d'origine intestinale. Il a été employé dans 32 cas avec un résultat très favorable dans l'ensemble. Il a été, en outre, utilisé chez un nourrisson sain, à titre exclusif, pendant un an. Il a été observé une croissance staturo pondérale tout à fait normale et comparable à celle de son jumeau qui recevait un régime lacté banal. Dans les cas où le régime est longtemps poursuivi, on peut observer un ralentissement ou même un arrêt de la croissance. Il suffit dans ce cas, d'ajouter au régime une petite fraction d'hydrolisat de levure pour obtenir un redressement de la courbe.

Il est important de souligner que le tournesol, plante dont le rendement témoigne d'une assez grande stabilité, est d'une culture facile. Fait important, il résiste à la sécheresse. On pourrait donc envisager sa culture dans certains pays du Tiers-Monde.

En conclusion

Il apparaît que la farine de tournesol, associée au besoin à d'autres farines d'aleurone (soja, maïs opaque) mériterait d'être utilisée comme nutriment protidique d'appoint ou de remplacement dans l'alimentation des sujets en voie de croissance des populations du Tiers-Monde, particulièrement lors du sevrage et à l'âge scolaire.

b) LE SOJA

Le soja fut découvert en tant qu'aliment riche en protéines par M. Berczeller. Le soja est une graine oléagineuse qui contient à peu près 35% de protéines bien équilibrées en acides aminés, la méthionine représente le facteur limitant des protéines du soja. Si l'on compare la composition de protéines végétales structurées dérivées du soja avec celle de la viande de bœuf demi-grasse, l'on constate une teneur très voisine en protéines.

	Protéine structurée	Viande demi-grasse
Lipides	0,3%	20%
Glucides	10,2%	0,5%
Calcium	78 mg par 100 g	10 mg par 100 g
Phosphore	195 mg	200 mg
Fer	4 mg	3 mg
Magnésium	93 mg	20 mg
Sodium	90 mg	70 mg
Vitamine B1	0,3 à 0,5 mg	0,09 mg
Vitamine B2	0,12 mg	0,20 mg
Vitamine PP	0,7 mg	4,50 mg

Il est possible d'obtenir des protéines non aromatisées, elles sont alors très pauvres en sodium, 34 à 40 mg pour 100.

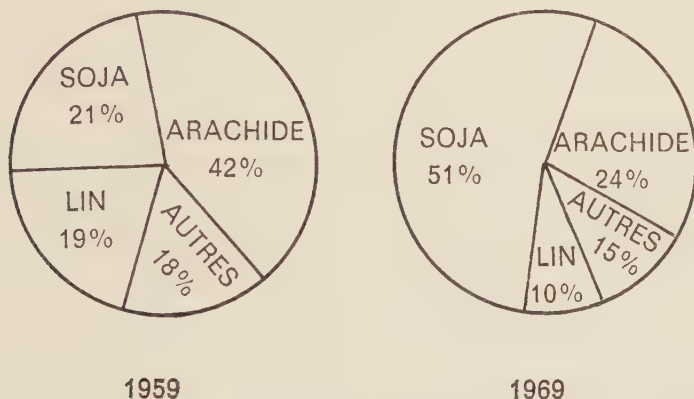
Par ailleurs, le soja contient un facteur anti-trypsine qui disparaît si l'on fait cuire le soja suffisamment.

La valeur biologique du produit est bonne puisqu'elle est de 81 contre 76 pour la viande de bœuf. L'acceptabilité de ces produits a été testée. Des protéines de goût neutre ont été ajoutées dans le potage chaque jour pendant dix jours pour 100 personnes à raison de 4 à 5 grammes (sec) par personne.

Pendant un mois il a été ajouté des protéines de goût neutre dans les tomates provençales, de goût poulet dans les bouchées à la reine ; de goût jambon à la viande hachée et dans les croque-monsieur ainsi que dans les sauces à raison de 5 à 15 g par personne pour des malades et tout le personnel d'un hôpital de la région parisienne. Il n'y eut aucune remarque ni de la part des malades, ni de la part du personnel. Parallèlement, dans une autre collectivité de soixante vieillards, cette fois de la région ouest de la France, l'acceptabilité fut également excellente. La surveillance régulière du poids de 10 sujets n'a pas permis de déceler de variations appréciables dans un sens ou un autre.

Par ailleurs, le soja constitue l'une des bases de l'alimentation animale ; il est utilisé sous la forme de tourteaux.

La consommation de tourteaux de soja a augmenté de façon considérable entre 1959 et 1969 :



La France, à l'heure actuelle, est obligée d'importer 1 100 000 tonnes de soja par an pour l'alimentation animale. Mais le coût du soja est en rapide augmentation, les demandes augmentant alors que la production diminue. Le prix du soja est passé de juin 1972 à juin 1973 de 240 dollars U.S. la tonne à près de 600 dollars.

Par ailleurs, les Etats-Unis ont mis très récemment l'embargo sur leurs exportations de soja, ce qui aura de profondes répercussions sur l'élevage français et européen.

B) Protéines animales

L'adulte peut en principe vivre de céréales complémentées par un mélange de protéines végétales, mais les protéines animales améliorent considérablement la valeur biologique des protéines de la ration.

Par ailleurs, les protéines animales et notamment le lait et les acides aminés, apportent d'autres nutriments et augmentent la sapidité des aliments.

Certains aliments d'origine animale et notamment le lait et les œufs, sont nécessaires au jeune enfant. La viande, le lait, les œufs et le poisson représentent respectivement 15, 11, 2 et 4% des approvisionnements mondiaux.

Ces chiffres varient considérablement d'une région du monde à l'autre, d'un pays à l'autre. Ainsi, en Amérique du Nord, où les protéines animales représentent 70% de l'apport protéique,

ces chiffres sont respectivement : 36,3 ; 24,9 ; 2,9 ; 5,8% ; cependant qu'en Afrique du Nord ils sont de 7,8 ; 9,5 ; 1,6 ; 0,8% ; en Inde, au Pakistan et à Ceylan : 1,4 ; 9,9 ; 1,4 et 0,2%.

En matière de production animale et particulièrement de production laitière, les résultats seront très longs à venir en l'état actuel de l'élevage dans les pays du Tiers-Monde, du climat, des épizooties longues à contrôler, des possibilités d'amélioration génétique des races et de l'alimentation. Ils exigeront des investissements importants.

Les taux annuels de croissance de la production animale ont été de 1,5 à 2% suivant les pays dans la période 1963-1967, or pour atteindre les objectifs modestes (la demande solvable) du plan F.A.O. de développement de l'agriculture, ils devraient être de 4% l'an d'ici 1985. Même le Tiers-Monde devrait encore importer 8 milliards de tonnes de viande et 34 millions de tonnes de lait.

Face à cette situation, on a proposé d'accroître la population d'animaux à cycle court : volailles et porcs qui pourraient d'ici 1985, apporter près d'un million de tonnes de protéines animales.

Quant au poisson, les captures sont aujourd'hui de 70 millions de tonnes par an. Les captures prévues pour 1985 sont de 106 millions, dont 2/3 pour l'homme et 1/3 pour l'animal.

Un progrès important pourra être obtenu en utilisant rationnellement le gigantesque potentiel d'aliments que représentent les océans et les eaux intérieures (rivières et lacs).

Cette richesse disséminée sur les 3/4 de notre planète ne fournit que 10% du total des protéines animales consommées par l'homme. Ce sont des chiffres réellement insignifiants si l'on considère que, selon des estimations sérieuses, les mers pourraient fournir chaque année environ 100 milliards de tonnes de produits animaux et 500 milliards de tonnes de matières végétales.

Peu à peu, la pêche cèdera la place à une chose moins aléatoire et plus rationnelle : la mise en culture et l'élevage des océans. Cela se fera en ensemençant certaines zones maritimes sélectionnées, surtout dans les golfes et les baies, pour y faire croître des plantes capables de nourrir de grands bancs de poissons et de crustacés.

Cette « agriculture » et cet élevage dans les mers — la marino-culture — seront peut-être plus importants demain que l'agriculture traditionnelle. L'exemple d'Israël en matière de pisciculture donne déjà la mesure de ce qui pourra se faire bientôt

à l'échelle du monde. Israël détient aujourd'hui le record de productivité des eaux intérieures avec un total de 5 000 hectares de bassins spécialement aménagés, dont la production moyenne est de 2 tonnes de poissons par hectare.

Source semi-classique de protéines

LES FARINES DE POISSON

Le poisson peut être utilisé comme source de protéines sous la forme de farine de poisson. Les farines de poisson non désodorisées utilisées depuis 40 ans ont très mauvais goût et sont pratiquement immangeables. D'ailleurs la chair des animaux nourris avec cette farine est, elle aussi, très mauvaise.

Par contre, les farines de poisson séchées, cuites, désodorisées et dégraissées sont plus facilement utilisables. L'analyse de ces farines montre qu'elles sont pratiquement, exclusivement constituées de protéines. Il y a moins de 1% de graisse, pas de glucides, peu de sels, pas de vitamines. C'est un aliment plat, neutre et sans saveur. Cette fabrication de farine de poisson est en plein essor. 8 millions de tonnes de poisson ont été pêchées dans ce but en 1967. Soit le double de la pêche de 1938. Ces 8 millions de tonnes ont donné 1 200 000 tonnes de farine.

Cette farine est utilisée en majeure partie pour l'alimentation animale. Une partie assez faible est utilisée pour l'alimentation humaine (généralement incorporée à des biscuits). Ce qui ne peut être vendu sert d'engrais. Les pays producteurs sont avant tout : le Chili, puis le Pérou, l'Angola et le Japon, puis la Norvège, l'Islande et l'Afrique du Sud, tous pays dont les côtes sont très poissonneuses.

Cette farine est fabriquée avec des déchets non commerciaux ou avec des espèces de goût médiocre que normalement on rejette à la mer, mais surtout des poissons de très petite taille. Ceux-ci se rencontrent en bancs de large étendue et de grande densité suivant les bancs de plancton dont ils font leur nourriture. La capture en est particulièrement aisée. Cette fabrication de farine de poisson pourrait décupler, passant de 1 200 000 tonnes à 12 millions. Cette pêche ne dévasterait pas l'océan si l'on a soin de ne pas se limiter à l'hémisphère nord qui fournit 95% du poisson consommé et cela d'autant plus que l'hémisphère sud est presque exclusivement pelagique.

Cette farine de poisson, protides presque purs, serait d'un puissant secours alimentaire. 10 millions de tonnes annuelles de cette farine fournirait annuellement 100 milliards de rations-protides-jour. Ce qui comblerait largement la carence protidique

actuelle (et ces chiffres semblent tout à fait possibles). Le prix par kg de ce protide est tout à fait compétitif des protides végétaux les plus économiques. Il est bien entendu que cette farine de poisson ne peut être utilisée comme seule source de protéines, elle doit être associée à des protides d'origine végétale ou animale.

La farine de poisson peut constituer 10 à 15% de la ration protidique quotidienne.

TABLEAU II

	Prix/kg	Teneur en protéines	Prix/kg de protéines
Soja : Tourteaux	12	45	27
Farine délipidée.....	15	52	29
Farine de poisson.....	48-50	75	66
Levure cultivée			
Levure cultivée sur mélasse..	53-71	50	106-142

Prix approximatifs (en cents U.S.) de quelques protéines utilisées pour l'alimentation animale en 1969.

Même si les prévisions des plans de développement se réalisaient, ce qui semble bien difficile, on s'accorde à penser que ces diverses ressources ne suffiraient pas à couvrir les besoins prévisibles à l'échéance des trois prochaines décennies. En conséquence, il est dès maintenant nécessaire et urgent d'avoir recours à des sources nouvelles et « non conventionnelles » de protéines. A cet égard, les microorganismes, vaste groupe qui comprend les levures, les moisissures, les bactéries, les algues unicellulaires offrent des possibilités particulièrement séduisantes. Leurs principaux avantages sont :

- leur taux de croissance extrêmement élevé, correspondant à des temps de génération de l'ordre de l'heure et donc cent fois ou même mille fois plus rapides que ceux des plantes et des animaux supérieurs ;
- leur haute teneur en protéines, atteignant 50 à 70% du poids sec ;
- L'extrême diversité des matières premières susceptibles d'être utilisées comme substrats ;
- le fait que la culture massive de microorganismes échap-

pe aux contraintes climatiques et qu'elle fait appel à une technologie relativement simple comparativement à de nombreuses autres productions industrielles.

En fait, l'idée d'utiliser des microorganismes à des fins alimentaires remonte au début du siècle et semble avoir été émise pour la première fois par Delbruck dès 1910. D'autre part, depuis longtemps déjà, des levures destinées à l'alimentation animale sont produites industriellement dans de nombreux pays. Cependant, sous la pression des besoins, ce qu'il est maintenant convenu de désigner sous le nom de « single cell protéin » ou de protéines unicellulaires, a suscité depuis quelques années un regain considérable d'intérêt. Les recherches entreprises dans ce domaine portent, d'une part, sur l'utilisation potentielle de nouvelles matières premières de bas prix et disponibles en grandes quantités. D'autre part, sur les possibilités offertes par d'autres microorganismes que les levures.

Les microorganismes susceptibles d'être employés pour la production de « single cell protéin » doivent remplir un ensemble de conditions d'ordre économique, nutritionnel, hygiénique. Le prix de revient de leur culture et de leur récolte doit être compétitif avec celui des autres sources de protéines alimentaires. D'autre part, leurs protéines doivent avoir une composition en amino acides favorable à l'alimentation des animaux et éventuellement de l'homme. Enfin, le produit final doit évidemment être totalement dénué de toxicité à court et à long terme.

II — NOUVELLES SOURCES DE PROTIDES

a) ALGUES UNICELLULAIRES

Ces organismes offrent à première vue des avantages séduisants ; ils sont en effet capables de se développer dans des milieux de culture purement minéraux et de composition simple en utilisant la lumière solaire, CO_2 et l'ion NH_4 , comme seules sources d'énergie, de carbone et d'azote.

Dans les années qui ont suivi la dernière guerre mondiale, on s'est d'abord intéressé à la culture d'algues vertes eucaryotiqueuse : *chlorella*, *scenedesmus*.

Les parois cellulaires de ces algues vertes eucaryotiques ont des propriétés chimiques qui les rendent difficilement acceptables par l'homme. Ces algues, compte tenu de diverses raisons : technologie, qualité nutritionnelle, prix de revient très élevé, ne peuvent être cultivées ni commercialisées.

Les spirulines

Dès 1963, l'Institut Français des Pétroles a découvert les propriétés d'une algue microscopique : la spiruline. La spiruline

est une algue très riche en protéines. Il s'agit d'une cyanophycée pluri-cellulaire qui contient 65 à 70 % de protéines dans sa matière sèche. Les spirulines vivent dans des eaux bi-carbonatées sodiques à Ph alcalin et de préférence dans les régions tropicales ou subtropicales. Elles se présentent sous la forme d'un filament spiralé de couleur vert bleu d'environ 1/4 mm de long.

Depuis les temps les plus lointains, les spirulines sont récoltées au Tchad pour les populations du Kanem vivant au voisinage de certaines mares. Elles sont vendues sous la forme de galette sèche : la « Dié ». Elles sont consommées soit sèches, soit parfois sous forme de « Biri », c'est-à-dire une sauce épaisse fortement épicée qui accompagne des boulettes de millet cuites à l'eau. Les spirulines étaient consommées également au Mexique avant la conquête espagnole par les populations aztèques vivant autour du lac Texcoco. On trouve dans les textes anciens que le ravitaillement de la grande ville de Tenochtitlan, où vivait une population de 150 000 à 200 000 personnes, était quelquefois précaire. On ramassait dans les eaux du lac Texcoco, eaux saumâtres et impropres à la consommation, une boue flottant à la surface et appelée « excrément de pierre ». Ces algues étaient séchées au soleil, puis frites et consommées sous le nom de « Tecuitlatl ». Par la suite, le lac de Texcoco fut asséché. Depuis des années, les saumures situées sous cet ancien lac sont exploitées. Elles sont pompées et concentrées dans l'immense évaporateur solaire de la société Sosa Texcoco S.A.

Les spirulines existent toujours et on les trouve en quantités importantes dans la ceinture extérieure de l'évaporateur où la salinité est adéquate. Depuis 1967, la société Sosa Texcoco, en collaboration avec l'I.F.P., étudie la production industrielle des spirulines et aujourd'hui Sosa Texcoco est le premier producteur.

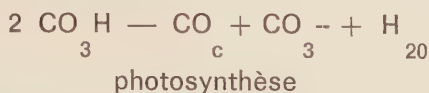
Technologie et production

Le procédé industriel de production de spirulines comporte différentes étapes. La production peut être assurée par une culture contrôlée en milieu synthétique dans un bassin ou par une culture « semi-naturelle » comme celle qui existe actuellement dans l'évaporateur solaire de Sosa Texcoco S.A. Les spirulines sont ensuite, par des techniques industrielles, concentrées, filtrées, lavées, séchées et décolorées si besoin est.

L'algue spiruline nécessite un milieu de culture alcalin. Le milieu de culture contient, outre des sels minéraux nécessaires, des quantités importantes de carbonate et de bicarbonate de Na.

Dans une gamme de PH comprise entre 8,5 et 11 et à la t° de 32°, on obtient une vitesse de croissance optimale. A ce PH, le CO₂ nécessaire à la photosynthèse se trouve essentiellement dans le milieu sous forme d'ions carbonate et bicarbonate.

Le processus d'assimilation du carbone peut être schématisé selon :



On constate que durant la croissance des spirulines, la C% en ions carbonates augmente. Pour reconstituer les ions bicarbonatés, il suffit d'injecter du CO₂. L'alcalinité du milieu de culture de la spiruline est un élément favorable pour une culture à grande échelle. Il suffit d'assurer initialement une réserve convenable d'ions bicarbonates dans le milieu de culture et d'aliments ensuite en CO₂ pour maintenir constante cette réserve.

Bassins de culture

Des bassins de culture fonctionnent depuis plus de 18 mois dans le laboratoire de l'I.F.P. Le bassin de culture est constitué par une plateforme horizontale avec une hauteur d'eau de 10 à 20 cm. Des puits à chaque extrémité et une cloison centrale. Au fond de l'un des deux puits, on injecte les gaz de combustion qui contiennent le CO₂ nécessaire à la culture et qui assurent à la fois la force motrice de la culture et la constance du PH.

Des bassins en plein air ont été construits ces dernières années dans le sud de la France à Antibes, à Oran et à Sosa Texcoco près de Mexico. Les bassins ont une taille de 5 à 700 cm².

Les rendements en algues sèches

Les zones les plus favorables pour la production en plein air des spirulines sont localisées approximativement entre les latitudes 35 N et S de l'équateur. Les zones les meilleures doivent être très ensoleillées, ne pas avoir de variations excessives de t°, ni recevoir de chutes de pluies importantes.

Dans les conditions favorables, une production moyenne sur toute une année d'au moins 12 g/m²/jour d'algues sèches peut être obtenue, soit environ 120 kg/Ha/jour d'algues sèches ou 85 kg/Ha/jour de protéines.

L'usine pilote de récolte des spirulines de Sosa Texcoco est la première dans le monde. Elle a été inaugurée en septembre 1972. Sa production journalière dépasse actuellement une tonne de spirulines sèches. Les techniques de production (concentration, filtration, lavage, séchage) sont souples et peu onéreuses.

Composition des spirulines

Les spirulines sèches se présentent sous la forme d'une poudre verdâtre. Sa principale caractéristique est sa teneur élevée en **protéines** : 64 à 70% de la matière sèche.

TABLEAU I

Analyses %	R	M1
Eau	3,6	4,2
Protéines ($N \times 6,25$)	72,6 ($N = 11,62$)	64,2 ($N = 10,27$)
Hydrates de carbone (méthode de Sachsse) ..	12,4	16,9
Lipides totaux	7,3	5,0
Cendre 550° C	4,7	6,6
Cellulose	0,6	0,5
Hydrates de carbone digestible	10,2	13,8
Hydrates de carbone solubles..	0,4	2,7
Indice de digestibilité (pepsine)	80	83
Cendres insolubles dans C1 H	0,05	0,18
Ca, mg/100 g	98	65
P, mg/100 g	870	890
Fe, mg/100 g	53	59
Na, mg/100 g	290	1100
C1, mg/100 g	20	440

Composition chimique de deux échantillons de spirulines
Analyses TNO, ZEIST, Hollande

R = Spirulines cultivées au laboratoire de l'I.F.P. sous lumière artificielle. Elles sont ensuite lavées et lyophilisées.

M1 = Spirulines cultivées en plein air à Mexico par Sosa Texcoco. Elles sont ensuite lavées et atomisées.

La teneur de chacun des acides aminés essentiels est égale ou supérieure aux normes de la FAO, sauf une légère déficience en cystine (voir tableau II).

Les acides nucléiques représentent 4 % de la matière sèche. L'étude comparée des acides nucléiques des deux couches de spirulines tchadienne et mexicaine a été effectuée. Alors que les modes de culture, la composition de la protéine et les valeurs nutritionnelles sont semblables pour ces deux souches, on note quelques différences. Ceci laisse supposer que l'on a affaire à deux espèces : *spirulina platensis* (Tchad), *spirulina maxima* (Mexique).

Les lipides totaux constituent soit 5%, soit 13% de la matière sèche suivant la méthode d'extraction utilisée. Les acides gras et l'insaponifiable représentent respectivement 83 et 17% de la fraction lipidique. Les acides gras sont constitués d'une grande proportion d'acide palmitique et d'acides insaturés en C 18. Il n'existe pas d'acides gras à nombre impair d'atomes de carbone. Dans l'insaponifiable ont été mis en évidence le squalène, les stérols et les alcools triterpéniques.

Les glucides : les études sont en cours. La matière glucidique existe en quantité.

L'étude des éléments toxiques a été effectuée sur des spirulines produites par Sosa Texcoco et par le labo de l'I.F.P., aucune anomalie n'a été relevée. Des analyses de toxicité à long terme sur des rats sont en cours et ne montrent aucune anomalie au bout d'un an.

Un contrôle bactériologique

Les résultats de ces examens sont favorables à la consommation humaine des spirulines, aucun germe vraiment pathogène n'ayant été trouvé dans les productions du laboratoire ni dans celles de Sosa Texcoco.

La valeur nutritive

Cette valeur nutritive est étudiée sur des rats, des poulets, des porcs. Avec les rats, dont le régime contient 25% de spirulines, aucune anomalie n'est à mentionner. Avec les poulets, les régimes supplémentés entre 0 et 30% de protéines montrent un obstacle à la croissance lorsque 5% ou plus de protéines sont fournis par les spirulines. Le fait est en cours d'étude. Avec les porcelets sevrés à 12 jours, 12% des spirulines sont

incorporés au régime. Ils ne présentent aucun trouble digestif, l'assimilation est bonne et comparable à celle d'un régime lacté. Une expérimentation de longue durée est en cours avec des truies en gestation puis en lactation.

Utilisation des spirulines dans la nutrition

Les spirulines peuvent servir à l'alimentation animale comme à l'alimentation humaine. Les spirulines sont utilisées au Mexique dans **l'alimentation des volailles**. Elles sont riches en caroténoïdes et plus particulièrement en xanthophylles qui sont les pigments efficaces pour donner la couleur jaune caractéristique à la chair des poulets et au jaune de l'œuf. Les études de pigmentation ont été construites avec succès en France, au Tchad et au Mexique.

En ce qui concerne **l'alimentation humaine**, il y a beaucoup d'espoir, d'une part parce qu'elles sont consommées depuis des siècles et, d'autre part, parce que leur prix est compétitif avec celui des denrées riches en protéines. Le kg de spirulines sèches vendu actuellement par Sosa Texococo est d'environ trois francs pour une petite production de 1 tonne par jour. Lors d'une production importante, ce prix pourrait être sensiblement réduit. De nombreux essais de consommation humaine ont été effectués. Les tribus tchadiennes connaissent des recettes pour utiliser la « Die » vendue dans les marchés. Ce fait a incité la F AO à organiser en 1967-1968 une campagne de consommation parmi les populations de jeunes et d'adultes qui jusqu'alors n'avaient jamais consommé de spirulines. La campagne a été couronnée de succès. Une autre étude effectuée au Tchad en 1973 montre que dans les zones rurales, la consommation est toujours fréquente (environ 6 à 7 repas sur 10), alors que dans les zones urbaines, elle est plus rare (1 à 2 repas sur 10). De plus, étant donné la grande quantité de sable contenue dans la Die, celle-ci n'apporte au mieux que 12 à 15% de protéines dans les mets préparés.

L'acceptabilité et l'utilisation des spirulines chez l'homme sont étudiées en France et au Mexique.

En FRANCE, les bilans azotés effectués chez deux sujets dénutris en réalimentation, recevant 20 à 40 g de protéines et algues par jour (soit 30 et 60 g de spirulines), ne montrent aucun ralentissement de la prise de poids, ni trouble gastro-intestinal, ni ralentissement de la vitesse du transit.

Au MEXIQUE, de nombreux tests d'acceptabilité ont été effectués, le goût mexicain étant aisément réceptif aux spiru-

lines, ce qui explique peut-être le fait que les Aztèques les aient consommées pendant une longue période.

Plus de quarante recettes ont été préparées sous la forme de boissons : crèmes glacées, entremets, pâtés, chocolats, soupes, fromages, céréales, riz et maïs enrichis en spirulines et contenant approximativement 22 et 23 % de protéines. Les tests ont donné de bons résultats, les meilleurs étant obtenus avec des céréales supplémentées avec des spirulines soit brutes, soit partiellement décolorées. L'acceptabilité par les enfants est très aisée et la couleur n'est pas un obstacle pour les Mexicains.

L'an passé, des régimes contenant 40 et 50 g par jour de spirulines ont été donnés à des athlètes à deux reprises pendant des périodes d'un mois et d'un mois et demi. Des résultats très intéressants ont été obtenus à l'hôpital infantile sur des bébés de moins de 8 kg et souffrant de malnutrition au 2^e et 3^e degré. Des tests comparatifs ont été faits également avec des bébés bien nourris ; ils ont porté sur 220 jours d'observation. Des bouillies à base de lait et à base de farine de soja ont été données alternativement avec des bouillies à base de spirulines. Les essais cliniques montrent que des résultats excellents sont obtenus avec un mélange à parts égales de lait et de spirulines.

Sur la base de ces résultats favorables au début de 1973, le gouvernement mexicain a accordé l'autorisation officielle de consommation des spirulines par les humains. Actuellement, les travaux sont poursuivis tant en France qu'au Mexique.

L'intérêt suscité par les algues spirulines

L'intérêt suscité par les algues spirulines est très grand. De nombreux travaux sont effectués actuellement et depuis plusieurs années en collaboration avec des organismes français et étrangers en ce qui concerne la technologie de production, l'analyse des constituants, les études biochimiques et les qualités nutritionnelles de cette algue.

Les organisations spécialisées des Nations unies : F A O, UNICEF, OMS et le Comité consultatif des protéines montrent un intérêt marqué pour les spirulines. L'UNICEF a mis au point ces années dernières, une farine de spiruline pour les bébés du Maghreb et a proposé de fabriquer une variante de cette farine dans laquelle tout ou partie du lait écrémé qui fait défaut pourrait être remplacé par des spirulines. Or, une production de spirulines est valable dans ces régions comme l'ont montré les travaux effectués par l'IFP et l'Institut Algérien du Pétrole et il est certain que les spirulines pourraient être avantageusement utilisées pour nourrir les jeunes enfants.

TABLEAU II

Analyse TNO, ZEIST, Hollande

Composition en acides aminés des deux échantillons
de Spirulines R et M1 (voir la légende du tableau I)
exprimé en g/100 g de protéines

Acides aminés	R	M 1	Normes FAO
Isoleucine	6,24	6,02	4,2
Leucine	8,91	8,65	4,8
Lysine	4,58	4,53	4,2
Méthionine	2,65	2,45	2,2
Cystine	0,94	0,96	2
Phénylalanine	4,53	4,40	2,8
Tyrosine	4,84	4,54	2,8
Thréonine	5,23	5,14	2,8
Tryptophane	1,60	1,61	1,4
Valine	6,74	6,56	4,2
Arginine	6,41	6,45	
Histidine	1,51	1,58	
Alanine	7,90	7,54	
Acide aspartique	8,92	9,29	
Acide glutamique	12,55	13,28	
Glycine	4,87	4,92	
Proline	3,48	3,63	
Serine	5,48	5,29	
Lysine disponible	4,41	3,95	
% disponibilité de la lysine ..	96	87	
Glucosamine	0,46	0,54	
N amide	0,97	0,95	
N Kjeldahl	11,59	10,29	
Protéine	72,5	64,3	

III — SOURCES NOUVELLES DE PROTEINES

b) LEVURES ET MOISSISSURES

Cultures sur substrats conventionnels

La production mondiale de levures est actuellement d'environ 330 000 tonnes par an, dont 150 000 tonnes de levure de boulangerie et 187 000 tonnes de levures sèches. (Voir tableau)

Les levures sèches sont cultivées, traditionnellement, à partir de mélasses et d'autres surplus ou déchets agricoles (sucre, amidon, petit lait, pulpe de fruits) ou industriels (moûts de brasserie, liqueurs sulfiteuses de papeterie). Leur production est limitée par le fait que ces matières premières sont, soit d'un coût trop élevé, soit, ce qui est le cas de la plupart des déchets et surplus agricoles et industriels, disponibles en quantités trop faibles ou de façon trop intermittente et saisonnière, pour que les unités de production puissent atteindre des dimensions rentables. On considère que dans le cas habituel d'unités ne dépassant pas une production annuelle de quelques milliers de tonnes, le prix de revient de la levure sèche varie suivant la matière première utilisée entre 53 et 71 cents U.S. par kg.

Mais l'expérience ainsi acquise au cours de nombreuses années a établi que les levures sèches constituent une excellente source de protéines non seulement pour les animaux, mais aussi pour les hommes comme l'a montré leur utilisation à cette dernière fin en Allemagne et en U.R.S.S. au cours des deux dernières guerres mondiales.

Production mondiale de levures (1965) en tonnes
(poids sec) par an
d'après H. Poppler « Single cell Protein » MIT press 1968

	Levure de boulangerie	Levures sèches
Europe	67 700	125 500
Amérique du Nord	61 000	37 500
Asie	12 900	21 300
Amérique du Sud	6 300	1 200
Afrique	2 350	2 200
Totaux	150 150	187 700

Pour que la production industrielle de levures alimentaires ou d'autres formes de « single cell protein » puisse se développer à l'échelle des besoins mondiaux en protéines, il est essentiel de faire appel à de nouvelles matières premières moins onéreuses et disponibles en très grande quantité. A cet égard, les hydrocarbures se placent au tout premier plan des possibilités existantes. (Voir tableau suivant)

1°) Le méthanol obtenu après oxydation du méthane présente le double avantage d'être plus aisément manipulable du fait de son état liquide et de sa solubilité aqueuse très élevée et d'être utilisé comme substrat de croissance par une grande variété non seulement de bactéries mais encore de levures.

	Production actuelle x	Potentialité pour SCP x	Prix cts US/kg	Biomasse obtenue x x
1 HYDROCARBURES				
Pétrole brut	2 000	100	4	0,85-1,0
Gaz naturel	450	25	0,5	0,75
Ethanol synthétique	6	80	6	0,75
Méthanol synthétique	2	45	3,2	0,40
2 GLUCIDES				
Sucre	67	10	12	0,5
Mélasses	10	10	4-6	0,25
Bagasses ou pulpe de betteraves	500	< 250	< 1	?
Pulpe d'agrumes	150	25	< 1	0,2
Petit lait	7	2	< 1	0,5
Liqueurs sulfiteuses	90	20	4	0,5
3 DECHETS ANIMAUX				
Bétail	350	90	< 0	?
Volaille	12	< 2	< 0	?

x millions de tonnes par an

x x kg de cellules/kg de substrat

Matières premières utilisables pour la production de protéines unicellulaires

[Les bactéries, cultivées sur méthanol, contiennent jusqu'à 70 % de protéines (poids sec), avec une composition favorable en acides aminés. Mais les bactéries, à la différence des levures, n'ont jamais encore été utilisées commercialement à des fins alimentaires. Par ailleurs, du point de vue technologique, la culture massive des bactéries pose de nombreux problèmes. On possède peu d'informations sur la tolérance des protéines bactériennes par les animaux et par l'homme. Il semble toutefois qu'il existe à cet égard d'importantes différences d'une espèce bactérienne à l'autre. Par exemple, les protéines d'*Escherichia Coli* sont bien tolérées par le poulet. Par contre, l'ingestion de 6 à 12 g d'autres espèces (*Aerobacter*, *Aerogènes* par exemple) semble être mal tolérée par l'homme, provoquant chez une proportion élevée d'individus des troubles digestifs (nausées, diarrhées) et des éruptions cutanées.

[Dans l'état actuel des choses, la production industrielle de bactéries à des fins alimentaires, si elle offre des perspectives prometteuses, notamment en ce qui concerne les bactéries méthano oxydantes, n'a pas dépassé le stade des études préliminaires et qu'il est encore impossible de prévoir son avenir économique.]

Le prix du méthanol qui était en 1970 de 10 cents US par kg est susceptible d'être abaissé dans un proche avenir jusqu'à 4 ou même 3,3 cents par kg grâce à un nouveau procédé de synthèse à partir des hydrocarbures. A partir de ces données, on a estimé que le prix de revient de la biomasse produite à partir du méthanol serait actuellement de 43 cents par kg de poids sec mais pourrait être réduit du fait de l'abaissement du coût de la matière première, à 25 cents ce qui serait compétitif avec les autres sources telles que poisson-soja.

Les perspectives et les certitudes offertes par les hydrocarbures ne doivent pas faire négliger les substrats glucidiques. L'utilisation de ces matières premières pour la production de SCP est très vraisemblablement appelée à un grand avenir, tout au moins dans de nombreux pays en voie de développement où la production est excédentaire en glucides, mais déficiente en protéines.

Par ailleurs, l'attention a été récemment attirée sur les possibilités offertes par les champignons inférieurs ou moisissures. Ces organismes présentent l'avantage que leurs protéines ont une composition en amino acides bien équilibrée et ne sont pas, en particulier, déficientes en amino soufrés. D'autre part, leur structure mycélienne facilite la récolte de la biomasse et sa texturation.

Enfin, l'usage traditionnel au Japon, en Indonésie et dans d'autres pays asiatiques de certaines moisissures pour l'alimentation humaine a démontré leur valeur nutritive et leur innocuité.

Les études effectuées en Angleterre par Rank à l'échelle de l'usine pilote ont permis de surmonter les difficultés tenant aux faibles taux de croissance habituel des moisissures.

Un des organismes sélectionnés (*Fusarium* Sp) se prête à la culture continue en milieu submergé. Il se développe avec un excellent rendement pondéral (0,5 g de mycélium par g de monosaccharide consommé) et des temps de division de l'ordre de 3 à 4 heures à partir d'une grande variété de substrats (mélasses, lactose du petit lait, amidon de manioc ou de pommes de terre).

La haute qualité de ces protéines unicellulaires et le prix de revient relativement élevé des matières premières utilisées pour leur production semble devoir les destiner essentiellement à l'alimentation humaine. A ce sujet, le projet précise qu'une usine ayant une capacité de production annuelle de 18 000 tonnes, poids sec de *Fusarium* suffirait à fournir la ration protéique de 550 000 personnes et pourrait être approvisionnée en matières premières par 1 200 hectares de manioc ou de tapioca ou par 3 200 hectares de canne à sucre.

Encore dans le domaine des matières premières végétales, on doit mentionner la production de levures alimentaires à partir d'hydrolysats acides de cellulose ou de bois. Cette production qui est industrialisée depuis plusieurs années déjà dans les pays de l'Est, et principalement en U.R.S.S., présente un intérêt évident, du fait de la grande abondance potentielle de la matière première considérée.

Il semble toutefois que son prix de revient soit 2,7 fois supérieur à celui d'autres sources de protéines et en particulier à celui des levures cultivées sur alcanes.

Culture de levures sur alcanes

c) LEVURES CULTIVEES SUR ALCANES

1) INTRODUCTION

Les moisissures, levures, bactéries et quelquefois les algues sont couramment qualifiées de sources de protéines nouvelles ou non conventionnelles ; ce n'est pas tout à fait exact puisqu'elles sont toutes très anciennes et sont utilisées dans l'alimentation humaine depuis des centaines et parfois des millions d'années. Les Egyptiens de l'Antiquité se seraient servis de la levure, les peuples de l'Europe centrale et orientale, ainsi que ceux d'Asie, connaissaient depuis des siècles le rôle de la fermentation dans la préparation des aliments. Les moisissures et les champignons en particulier ne sont pas nouveaux, sûrement et, depuis des siècles, les riverains du lac Tchad cueillent et mangent une algue nommée *Spirulina maxima*.

L'emploi des levures dans l'alimentation a donc une origine très ancienne. L'idée de cultiver des levures sur des alcanes est plus récente.

Le pouvoir de certains microorganismes d'utiliser les alcanes comme seule source de carbone et d'énergie fut mentionné pour la première fois à la fin du XVIII^e siècle.

2) DECOUVERTE RECENTE

En 1959, M. Champagnat put établir que des levures placées dans un milieu aqueux contenant des éléments nécessaires à leur croissance étaient capables d'assimiler ces éléments y compris le carbone et l'hydrogène des alcanes et de proliférer avec une extrême rapidité.

Il existe deux procédés de culture sur alcanes :

- 1) L'un à Lavéra (13) consiste à cultiver des levures à partir d'une coupe pétrolière classique (alcanes). Ces levures sélectionnent alors les paraffines qu'elles métabolisent.
- 2) L'autre mis au point à Grange-Mouth (Ecosse) consiste à séparer d'abord les paraffines par un traitement de raffinage approprié et à les donner comme aliments aux levures qui les consomment entièrement.

Des installations de production ont été construites pour ces

deux procédés B. P. La première installation utilisant des N. paraffines est située à Grange Mouth (Ecosse) et est conçue pour une production annuelle de 4 000 tonnes de levure. La première installation utilisant du gas oil a été construite à Lavéra dans le midi de la France et est conçue pour une production annuelle de 16 000 tonnes.

TABEAU I
Analyses chimiques

Constituants	LEVURE L (paraffines pures)	LEVURE G distillat paraffinique	Farine de poisson %	Tourteaux de soja %	Poudre de lait écrémé %
Humidité % de poids	5	5	9	10	6
Protéines brutes	60-63	65-67	65	44	33
Lipides	7,6	1,4	3,8	0,5	0,5
Calcium	0,01	0,30	4,5	0,25	1,25
Phosphores	1,50	1,60	2,8	0,60	1,00
Energie métabolisable (kcal/kg pour :					
volailles	3 050	2 550	2 530	2 240	2 500
veau pré-ruminant	3 530	3 430	—	—	3 400
porcs	3 900	3 500	2 450	2 825	3 360
Nutriments digestibles					
Totaux (TDN) %					
Porcs	103	97	70	71	86

(X) Chiffres de Allen

Les valeurs TDN pour les levures ont été calculées en prenant
4 400 k calories d'énergie
digestible = 1 kg TDN

Produit fabriqué à Grange mouth commercialisé en 1971.
produit fabriqué à Lavéra en 1972.

L'analyse chimique des deux produits BP et des trois sources protéiques traditionnelles (farine de poisson, tourteaux de soja, lait écrémé en poudre) montre que la teneur en protéines des

levures BP est équivalente à celle de la farine de poisson et plus élevée que celle du soja et du lait écrémé en poudre.

Les levures sont d'excellentes sources d'énergie et leurs valeurs sont indiquées dans le tableau 1 pour plusieurs espèces animales. La teneur en lipides, plus élevée des levures cultivées sur des N paraffines leur confère des valeurs énergétiques particulièrement élevées.

Comme le montre le tableau 2, les levures sont des sources médiocres d'acides aminés soufrés : méthionine et cystine. Toutefois, elles constituent une excellente source d'acides aminés importants tels la lysine, le tryptophane et la thréonine.

TABLEAU II
Teneur en acides aminés (g/16 g d'azote)

Acides aminés	LEVURE L	LEVURE G	Farine de poisson	Tourteau de soja
Iso leucine	5,1	5,3	4,6	5,7
Leucine	7,4	7,8	7,3	6,1
Phénylalanine	4,3	4,8	3,7	5,0
Tyrosine	3,6	4,0	2,9	2,7
Thréonine	4,9	5,4	3,8	3,9
Tryptophane	1,4	1,3	1,2	1,6
Valine	5,9	5,8	5,5	5,4
Arginine	5,1	5,0	5,2	7,7
Histidine	2,1	2,1	2,3	2,5
Lysine	7,5	7,8	6,7	6,6
Lysine disponible	7,5	7,8	6	6,5
Cystine	1,1	0,9	0,9	1,5
Méthionine	1,8	1,6	3,4	1,5
Acides aminés soufrés	2,9	2,5	3,6	2,8

Chiffres de Lewis et Borman (valeurs déterminées par essais sur poussins).

3) VALEUR NUTRITIONNELLE

Les données du tableau 2 laissent supposer que la valeur nutritionnelle des levures pourrait être limitée par leur teneur relativement faible en méthionine. Ceci a d'ailleurs été confirmé

par la détermination du coefficient d'utilisation protéique nette (N P U) et de la valeur biologique des échantillons de levure. L'addition de dl méthionine, à la fois facile à se procurer et relativement peu coûteuse, porte la valeur biologique de la protéine de levure au niveau de celle du lait écrémé en poudre qui est une des meilleures sources de protéines existantes.

Par ailleurs, les levures obtenues par les procédés de la BP semblent être très bien digérées par un très grand nombre d'espèces animales.

Des valeurs affirmant ces faits sont contenus dans le tableau 4.

TABLEAU III

Teneur en vitamines en mg par kg de levures

Vitamines mg/kg de levure	LEVURE G	LEVURE L
Thiamine	4,0	3,1
Riboflavine	180,0	183,0
Pyridoxine	25,0	57,,0
Cyanocobalamine	0,001	0,001
Niacine	430,0	125,0
Acide pantrohéniq ue	125,0	10,0
Acide folique	6,4	7,0
Inositol	3 265,0	1 430,0
Chlorure de Choline	8 300,0	2 000,0
Acide aménobenzoïde	40,0	35,0

Dans les conditions normales, les levures, qu'elles soient utilisées pour l'alimentation humaine ou animale, ne seront pas consommées seules et il est probablement plus réaliste de considérer leur valeur en tant que constituants de régimes alimentaires complets.

Les données figurant sur les tableaux 1, 2 et 4 laissent supposer que, théoriquement, les levures pourraient être particulièrement utiles pour améliorer la qualité nutritionnelle du blé dont la teneur en lysine est faible et du maïs qui ne contient pas assez de lysine et de tryptophane.

TABLEAU IV

PRODUITS	Digestibilité vraie de l'azote	Valeur biologique B V	Utilisation protidique neutre
a) levures L	96	61	59
b) c) + 0,3% dl méthionine	96	91	88
c) levures G	94	54	50
d) c) + 0,3% dl méthionine	95	96	91
e) poudre lait écrémé	95	87	82
f) c) + 0,3% dl méthionine	93	93	87
g) isolat commercialisé de protéine de soja	100	42	42
h) c) + 0,3% dl méthionine	99	65	64
i) tourteau de soja x	86	68	59
j) farine de poisson x x	91	80	74

x chiffres de Miller

+ xx valeurs moyennes pour les farines de hareng, anchois, menhaden, poisson blanc, pilchard, maasbanker, sardines rapportées par Miller

4) ETUDES DE TOXICITE CHEZ L'ANIMAL

Le développement de procédés de fabrication industrielle de protéines par fermentation de fractions d'hydrocarbures revêt une importance considérable par le fait qu'il fournira des protéines pour la nutrition animale et humaine dans un proche avenir en raison de la nature inhabituelle des substrats utilisés et des nouveaux procédés de fabrication de ce type d'aliments ; on a estimé que les produits obtenus devaient être soumis à des examens toxicologiques rigoureux. Les levures obtenues par les deux procédés BP ont été soumises à des essais complets.

Le programme comportait une étude à court terme (90 jours) et à long terme (2 ans) et sur plusieurs générations de rats, ainsi que des études de détermination de la capacité cancérigène sur des rats et des souris.

D'autres essais portant sur les incidences tératogéniques et mutagénétiques sur les rats ont été effectuées et sont encore en cours actuellement.

Nous allons résumer sous forme de tableaux certains éléments constants de ces études, tels que les régimes et les critères examinés :

a) Composition des aliments - Régimes

Matières premières	Essai de toxicité aiguë		Essai à court et à long terme	
Les lots	Témoïn	Expérimental	Témoïn	Expérimental
Levures B P	—	40 %	—	30 %
Tourteaux de soja	60 %	—	45 %	—
K H 2 PO 4	2	—	1,2	—
Amidon	26,2	48,2	—	—
Céréales	—	—	42,8	55,7
Cellulose brute	2	2	—	3
Méthionine	0,2	0,2	—	0,3
Farine de poisson	—	—	4	4
Vitamines	1,8	1,8	1,8	1,8
Minéraux	2,8	2,8	2,2	2,2
Graisse	5	5	3	3

b) Critères étudiés lors des essais de toxicité

Critères généraux	Hématologie	Biochimie sanguine	Urine	Fonctionnement rénal
Mortalité	Hémoglobine	Glucose	Apparence	Test de concentration
Etat général et comportement	Hématocrite	Azote	PH	
Croissance	Erythrocytes	Protéines	Glucose	Excrétion de rouge de phénol
Consommation de nourriture et d'eau	Leucocytes	Taux alb/glob SGOT SGPT	Protéines Caillots de sang	UGOT (transaminase glutamique oxa-lacétique)
Apparence des feces		SAP (phosphate alcaline)	Cétones Sédiments	

c) Poids des organes à l'autopsie

Etudes sur rats			Capacité cancérigène sur souris (un an et demi)
Court terme (90 jours)	Long terme (2 ans)	Capacité cancérigène (2 ans)	
Foie Reins Rate Cœur Cerveau Gonades Capsules surrénales Thyroïde Hypophyse Thymus	Foie Reins Rate Cœur Cerveau Gonades Capsules surrénales Thyroïde Hypophyse	Foie Reins Rate Cœur	Foie Reins Rate Cœur Cerveau Testicules Poumons

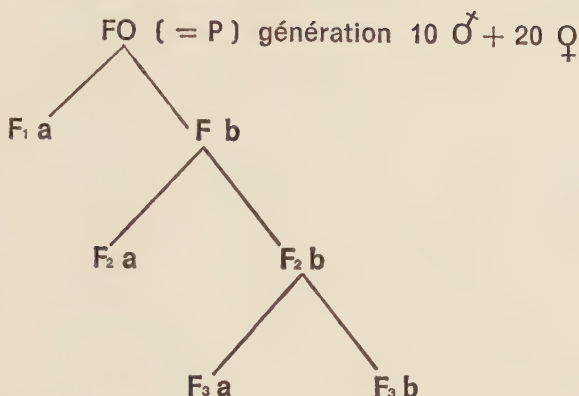
d) Organes et tissus examinés au microscope

Etudes sur rats		
Court (90 j) et long terme (2 ans)	Capacité cancérigène (2 ans)	Capacité cancérigène sur souris (1 an et demi)
Sur chaque rat des groupes recevant 30% de levure et des groupes témoins : Cœur, reins, foie, rate, cerveau, gonades, hypophyse, thyroïde, parathyroïde, surrénales, thymus, poumons, trachée, glandes salivaires, tractus gastro-œsophagien, pancréas, vessie, muscle strié, moelle épinière, nerf fémoral, peau, moelle osseuse, nodules lymphatiques axillaires et mésentériques, glande lacrymale, glande mammaire, aorte, utérus, prostate, vésicules séminales	Sur chaque rat les tumeurs et les lésions suspectées d'être des tumeurs	Sur chaque souris les tumeurs et les lésions suspectées d'être des tumeurs Examen histologique détaillé de 20 souris mâles et 20 souris femelles de chaque groupe

e) Schéma des essais de toxicité à court et à long terme

	Etudes sur rats			capacité cancérigène sur souris
	Court terme	long terme	capacité cancérigène	
Période	30 jours	2 ans	2 ans	1 an et demi
Animaux par groupe	20	50-60	100	200
Etat de santé	quotidien	quotidien	quotidien	quotidien
Poids corporel	hebdomadaire	mensuel	mensuel	mensuel
Consommation de nourriture	par intervalles	par intervalles		
Hématologie	12 ^e semaine	par intervalles		
Biochimie sanguine	12 ^e semaine	par intervalles		
Composition urine	12 ^e semaine	par intervalles		
Autopsie	13 ^e semaine	104 ^e semaine		
Fonctionnement rénal	12 ^e semaine	par intervalles	104 ^e semaine	80 ^e semaine
Nombre d'organes pesés	9	9	—	—
Patho macro	tous les rats	tous les rats	4-5	6-7
Histo pathologie	tous les rats	tous les rats	tous les rats	toutes les souris 40/GROUPE ET TUMEURS

f) Etudes sur la reproduction



Observations : Mortalité

Poids corporel des parents et des nouveaux-nés
Nombre de jeunes par portée
Implantations placentaires
Examen complet des portées F3b

Chaque régime est donné à des groupes de dix rats mâles et vingt rats femelles qui viennent d'être sevrés et qui constituent la génération parentale. Après trois mois, ces rats sont accouplés au sein même de leur groupe. Dix mâles et vingt femelles sont choisis dans la deuxième portée de chaque génération pour engendrer la génération suivante. De sorte que chaque génération F₁, F₂, F₃ est élevée avec deux portées successives a et b.

L'expérience se termine avec la deuxième portée de la troisième génération. Un nombre représentatif de petits dans chaque groupe subit un examen hématologique, biochimique et pathologique classique dans le but de détecter des effets nuisibles éventuels.

Des études spéciales ont été effectuées ou sont en cours pour voir si les levures consommées par la génération parentale provoquent la mort prématurée de l'embryon ou des malformations des fœtus. Ces études mutagéniques et tératogéniques sont effectuées selon des méthodes récemment proposées pour être incorporées dans les programmes complets d'essai de sécurité d'emploi.

5) RESULTATS

Ces diverses études ont donné les résultats suivants que j'énoncerai sous la forme de tableaux afin de rendre plus clair cet exposé :

a) Croissance rat au bout de 2 ans (les chiffres représentent des poids)

[illegible]

Conclusion concernant la croissance. Le poids corporel des rats nourris avec des régimes contenant des levures est souvent plus élevé que celui des rats nourris avec des régimes témoins contenant des tourteaux de soja, quoiqu'il soit généralement inférieur à celui des rats recevant le régime ordinaire.

b) Hémathologie — Rats au bout de 2 ans

Régimes	Mâles			Femelles		
	teneur en Hb	teneur en GR	teneur en GB	teneur en Hb	teneur en GR	teneur en GB
Témoin soja	13,9	7,1	13,2	13,6	6,4	12,1
Levures (10 %)	14,2	7,4	14,7	14,1	6,5	11,9
(20 %)	14,2	7,4	13,0	14,3	6,8	11,1
(30 %)	13,3	6,8	13,5	14,0	6,4	10,6
Témoin ordinaire	14,5	7,5	12,2	14,2	6,1	14,9
LEVURE G						
Témoin soja	14,2	7,7	15,1	14,4	6,8	13,2
Levures (10 %)	14,1	7,8	15,3	14,5	7,1	13,2
(20 %)	14,4	7,6	20,7	14,5	7,3	14,9
(30 %)	14,2	7,9	17,5	14,2	6,9	11,9
Témoin ordinaire	14,1	7,7	13,8	13,6	6,6	14,1
LEVURE L						

Conclusion - Hématologie : Aucune différence significative n'a été constatée entre les groupes en ce qui concerne la teneur en hémoglobine, le nombre des GR et GB, ni d'ailleurs en ce qui concerne les autres indices hématologiques non-mentionnés dans ce tableau.

c) Biochimie du sang

TSP = protéine sanguines SAP = phosphatases alcalines SGOT = transaminases

Régimes	Mâles			Femelles		
	SGOT	SAP	TSP	SGOT	SAP	TSP
LEVURE G						
Témoin soja	131	4,8	6,6	143	5,7	7,1
Levures (10 %)	137	6,6	6,9	145	4,3	6,8
(20 %)	138	6,9	6,7	147	5,7	7,3
(30 %)	121	6,6	6,5	141	4,9	7,0
Témoin ordinaire	124	3,8	6,5	130	3,8	7,3
LEVURE L						
Témoin soja	148	3,9	7,3	138	4,6	8,0
Levures (10 %)	151	6,1	6,9	140	4,2	7,6
(20 %)	156	5,0	6,3	130	3,6	7,5
(30 %)	149	4,0	6,7	131	4,0	7,6
Témoin ordinaire	136	6,7	6,9	131	3,2	7,7

Biochimie (au bout de 2 ans): Les valeurs de la phosphatase alcaline avaient augmenté chez les mâles recevant les levures cultivées sur paraffines, mais ces valeurs n'étaient pas liées à l'augmentation des teneurs en levures des régimes. Pour les femelles recevant le même régime de levures, les valeurs de la phosphatase alcaline n'avaient pas changé. Les différences constatées ne peuvent donc pas être considérées comme ayant une signification toxicologique.

d) **Fonctionnement rénal des rats au bout de 2 ans**

UGOT = transaminase glutamique oxalacétique de l'urine

Régimes	Mâles			Femelles		
	UGOT	Densité	Excrétion du rouge de phénol	UGOT	Densité	Excrétion du rouge de phénol
	LEVURE G					
Témoin soja	16,4	53,7	68,3	13,2	64,9	78,4
Levures (10 %)	12,6	50,3	65,4	15,6	54,1	72,6
(20 %)	13,7	58,5	61,7	15,2	68,1	74,5
(30 %)	14,4	58,1	61,0	15,9	61,6	68,6
Témoin ordinaire	16,1	57,5	58,3	15,8	70,2	70,6
	LEVURE L					
Témoin soja	13,8	61,9	60,1	7,3	55,1	65,0
Levures (10 %)	14,2	59,1	61,3	7,4	61,2	64,0
(20 %)	13,6	62,7	54,4	8,3	65,1	65,8
(30 %)	11,9	61,1	58,0	10,7	70,7	66,1
Témoin ordinaire	13,1	66,7	57,6	12,7	70,0	67,2

Excrétion de rouge de phénol : ce critère est constitué par le pourcentage du colorant qui est excrété dans l'urine dans l'heure suivant l'injection intra-musculaire de 0,05 mg par kg de poids corporel. La densité des urines des rats recevant 20 et 30 % de levures est sensiblement plus élevée que celle des urines des rats recevant 10 % de levures et quelquefois également plus élevée que celle des urines des rats recevant les régimes témoins à base de soja. Cependant, pour les régimes contenant 30 % de levures, les valeurs ne s'élèvent jamais au-dessus de celles observées avec le régime témoin ordinaire. D'après ces données, aucune altération du fonctionnement rénal ne s'est révélée.

e) **Mortalité et poids relatif des organes** (reins et foie) au bout de 2 ans

Le poids des organes est donné en pourcentage du poids corporel

Régimes	Mâles			Femelles		
	Mortalité %	Poids du foie	Organes reins	Mortalité %	Poids du foie	Organes reins
LEVURE G						
Témoin soja	40	3,13	0,63	36	3,26	0,64
Levures (10 %)	12	2,94	0,63	28	3,04	0,60
(20 %)	28	3,14	0,66	8	3,03	0,63
(30 %)	28	3,04	0,66	28	3,38	0,67
Témoin ordinaire	28	2,94	0,61	16	3,34	0,63
LEVURE L						
Témoin soja	63	3,61	0,81	40	3,48	0,67
Levures (10 %)	70	3,37	0,77	30	3,27	0,64
(20 %)	50	3,22	0,80	40	3,36	0,66
(30 %)	63	3,05	0,66	63	3,20	0,68
Témoin ordinaire	53	3,15	0,71	30	3,27	0,62

Mortalité et poids des organes

Dans le cas de l'étude de deux ans portant sur les levures cultivées sur paraffines la mortalité était relativement faible mais variait considérablement dans les différents groupes. Dans celui de l'étude de 2 ans portant sur les levures cultivées sur gas-oil, la mortalité était élevée dans tous les groupes. Des différences liées aux traitements n'ont pas été observées. Durant ces études à long terme, ni le foie ni les reins n'ont augmenté de poids. On a même observé une réduction du poids de ces organes chez certains groupes recevant des levures.

Capacité cancérigène

Ces résultats n'ont révélé aucune indication d'une éventuelle capacité cancérigène des levures examinées.

G) Reproduction

Les valeurs moyennes relatives aux différents groupes sont très proches les unes des autres. Même le taux de levures de 30 % ne réduit pas la fécondité et la valeur laitière des femelles. Les quotients de résorption placentaire très uniformes montrent que la mortalité fœtale est négligeable pour toutes les incorporations de levures.

Le tableau suivant donne les résultats de reproduction pour la neuvième génération. La fécondité des animaux recevant des levures n'accuse aucune baisse et la mortalité des petits pendant les périodes d'allaitement est toujours faible. Bien que la mortalité des petits soit élevée dans le groupe recevant un régime contenant 10 % de levures cultivées sur gas oil et dans les deux groupes témoins correspondants, elle est très faible dans le cas des régimes contenant 20 à 30 % de levures.

g) Reproduction

Régimes	Femelles avec une portée	Ratons par portée	Poids au sevrage en grammes	Mortalité au sevrage %	Quotient de résorption placentaire
LEVURES G					
Témoin soja	100	9,0	39,5	5,3	1,25
Levures (10 %)	100	9,5	36,6	1,3	1,15
(20 %)	100	8,8	37,7	3,6	1,14
(30 %)	100	10,7	37,8	3,9	1,17
Témoin ordinaire	100	10	41,6	0,6	1,08
LEVURES L					
Témoin soja	95	10,5	37,7	16,0	1,09
Levures (10 %)	100	9,5	35,1	27,9	1,21
(20 %)	95	10,4	37,0	3,3	1,11
(30 %)	100	10,4	37,3	0,0	1,13
Témoin ordinaire	100	9,1	41,5	13,0	1,20

H) Les études tératologiques et mutagénétiques

Ces études sont encore en cours actuellement mais des résultats ont néanmoins été publiés. Pour ces études tératologiques des groupes de 20 rats femelles gestantes sont nourries avec des régimes contenant 10, 20, 30% de levures seulement pendant le début de la gestation. Les femelles sont sacrifiées un jour avant la mise bas. Les embryons sont pesés et soigneusement examinés pour rechercher les anomalies éventuelles dans les tissus et les squelettes.

	Témoin soja	30 % levures L
Femelles examinées	13	13
Femelles avec fœtus anormaux	5	2
Nombre d'embryons examinés	141	129
Malformat. autres que du squelette	4 (1)	10 (1)
Malformations du squelette	7 (4)	3 (1)

entre parenthèse : nombre de femelles avec des fœtus anormaux

Les données n'indiquent aucune activité tératogénique de la levure cultivée sur gas oil. Une expérience similaire est en cours avec la levure cultivée sur paraffines. Par ailleurs, la présence possible de propriétés mutagéniques dans la levure cultivée sur paraffines ou sur gas oil a été étudiée chez les rats au moyen de l'essai dit du « gène letal dominant ».

Des groupes de 10 rats mâles adultes ont été nourris pendant 5 jours consécutifs avec un régime contenant 60 % de levures ou avec un régime témoin à base de tourteaux de soja. Ensuite chaque rat mâle fut mis dans une cage pendant une semaine avec deux rats femelles. Puis les femelles furent remplacées par deux nouvelles femelles. Cette structure d'accouplement fut poursuivie pendant 4 semaines. Chaque femelle fut sacrifiée avant terme pour examen des embryons morts et vivants.

Résultats

Régimes	Nombre d'implantations utérines mortes par femelle accouplée pendant la semaine			
	1	2	3	4
Témoin	0,9	1,6	0,5	0,8
60 % levure G	0,8	1,3	0,7	1,1
60 % levure L	1,3	1,2	0,5	1,1

Comme le montre ce tableau, le nombre moyen d'implantations placentaires mortes pour chaque femelle des divers groupes et au cours des semaines successives était uniformément faible. On en a donc conclu que la levure n'avait sur les mâles aucune incidence génétique pouvant entraîner des changements létaux de l'embryon.

D'après les résultats obtenus jusqu'à maintenant, on peut affirmer que les régimes contenant jusqu'à 30 % de levures cultivées sur alcanes consommés pendant la majeure partie de la durée de vie des animaux n'ont aucun effet sur ceux-ci.

6) EXPERIENCES PRATIQUEES SUR LES RATS DE LABORATOIRE

Histologie et cytochimie

A. Une expérience a été pratiquée par le Professeur Jean Verne, Mme S. Hébert et N. Richshoffer, sur le « comportement d'hépatocytes cultivés en présence d'un concentré protéique de levures développées sur un substrat pétrolier ».

Il était intéressant d'étudier le comportement d'éléments cellulaires, in vitro, en présence d'un concentré protéique pétrolier. Les éléments cellulaires étant des hépatocytes, qui sont un matériel favorable puisqu'en plus de leur aptitude à la mitose, les hépatocytes permettent d'apprécier leurs activités métaboliques : fonction glycogénique, réactions enzymatiques diverses.

Méthode d'expérimentation

Molécules protéiques (provenant des levures cultivées sur substrat pétrolier) délipidées et débarrassées de tout produit pétrolier. Les molécules étant insolubles donc inutilisables telles quelles par les hépatocytes en culture. Il a donc fallu les soumettre à l'action d'enzymes digestives, telles que celles qui agissent dans un organisme : pepsine, trypsine. Les meilleurs résultats ont été obtenus avec la trypsine. Pour les cultures traitées, les meilleurs résultats ont été obtenus en ajoutant au milieu 5/100 du digestat surnageant. Des cultures témoins sont effectuées parallèlement. Les éléments cultivés proviennent de foies d'embryon de poulets de 8 à 9 jours d'incubation.

Les résultats sont les suivants :

a) Croissance et index mitotique :

La croissance est très améliorée par rapport aux cultures témoins pour 1 000 hépatocytes on observe 41 mitoses en présence de l'extrait de levure, alors qu'on dénombre 25 dans les cultures témoins.

b) Etude du chondriome :

On observe une persistance de la forme granuleuse du chondriome dans les cultures en présence de l'extrait de levures alors que dans les cultures témoins le chondriome prend la forme de bâtonnets témoignant d'un appauvrissement de la culture.

c) Fonction glycolytique

On observe une nette augmentation du contenu en glycogène par rapport aux témoins.

d) Activités enzymatiques

1. Glycogène synthetase
Activité de cette enzyme nettement plus importante que dans les cultures témoins.
2. Glucose 6 phosphatase
Réaction positive dans un nombre d'hépatocytes inférieur à celui observé dans les cultures témoins.
Ce fait tient à ce que la glycogénèse est réduite.
3. Phosphatases acides
Cette réaction est caractéristique de la zone golgienne et des lysosomes elle est comparable dans les deux lots de cultures.

Ainsi des protides obtenus aux dépens des levures développées sur un substrat pétrolier se montrent utilisables par des cel-

lules séparées d'un organisme, en l'espèce des hépatocytes cultivés, in vitro, dont la croissance et les activités sont nettement favorisées.

2) Utilisation dans l'alimentation du rat

Expérience faite en 1972 par le Pr Verne, Mme Hébert et Mme Richshoffer : « Action sur des cobayes en régime hypoprotidique d'un concentré protéique de levures cultivées sur alcanes ».

Conditions d'expérience :

60 cobayes (30 mâles et 30 femelles) ont été soumis à un régime hypoprotidique pendant 15 jours. Au bout de ce délai trois lots ont été constitués, comprenant 20 animaux (10 $\overset{+}{O}$ et 10 $\overset{+}{O}$).

Lot n° 1 : régime hypoprotidique maintenu pendant 15 jours et les animaux sont sacrifiés.

Lot n° 2 : les animaux reçoivent pendant 15 jours, en supplément du régime hypoprotidique, 15 % de concentré protéique de levures puis sont sacrifiés.

Lot n° 3 : comme le deuxième lot, mais le supplément de concentré protéique est de 30 %.

Les animaux des lots n° 2 et n° 3 buvaient deux fois moins que les animaux carencés.

Les résultats

Aspect extérieur :

Lot n° 1 : pelage terne et clairsemé ; musculature molle, gonflée d'eau, aspect grassex.

Lots n° 2 et n° 3 : pelage fourni et brillant ; musculature ferme et rosée.

Poids corporel :

	Lot n° 1	Lot n° 2	Lot n° 3
Mâles	31,6 g	85 g	95 g
Femelles	14 g	93 g	85 g

Ce tableau représente l'augmentation de poids au moment du sacrifice depuis le début de l'expérience pour un poids moyen de 300 g.

Cette augmentation de poids chez les animaux des lots n° 2 et n° 3 est même supérieure à celle des animaux témoins. L'augmentation de poids est sensiblement la même que la ration supplémentaire, soit de 15 % ou de 30 %.

Examen immédiat des organes :

Poids des organes : foie, surrénales et ovaires : poids sensiblement identique dans les trois lots.

Testicules : augmentation nette :

0,91 g pour 100 g de poids corporel dans les lots 2 et 3
0,69 g dans le lot n° 1.

Pancréas : cet organe étant enfoui chez le rat, il est impossible de le peser exactement.

Examen histologique des organes :

Les animaux du lot n° 1 présentent tous les signes histologiques et cytochimiques que nous avons déjà vus lors de l'étude des carences.

1° Foie

Chez les animaux des lots 2 et 3, charge normale des hépatocytes en glycogène. Forte réaction des aliestérase.

2° Pancréas

Les acini : aspect normal des cellules avec regranulation. Ilôts de Langerhans : macronésie, polynésie. Le fait le plus important est le retour à l'état normal des cellules A et la mise en évidence du tryptophane.

3° Intestin grêle

Réapparition des réactions de la phosphatase alcaline, dans le plateau strié des entérocytes du sommet des villosités. Disparition du stockage du fer dans les cellules intestinales. Réapparition de la réaction des aliestérase.

4° Testicule

Normalisation de la spermatogénèse.

Au total, l'adjonction d'un supplément de protéines, issues de la culture des levures sur alcanes, à un régime hypoprotéique fait disparaître tous les signes observés chez les animaux carencés, tant sur le plan histologique que sur le plan du développement général.

7. Alimentation à long terme d'animaux d'élevage

En plus des essais sur des animaux de laboratoire, une information importante a été obtenue par des essais d'alimentation à long terme d'animaux d'élevage dont le régime alimentaire contenait des levures B.P.

Depuis près de cinq ans, l'évaluation des deux produits B.P.

comme constituants des régimes pour les animaux de ferme sont en cours à l'Institut pour la recherche agronomique sur les produits biochimiques (I.L.O.B.) à Wageningen, Hollande.

Ce programme couvrait des études à court terme, tels des essais sur poulets de chair, veaux de boucherie et porcs charcutiers. Des essais à moyen terme sur des poules pondeuses ainsi que des travaux à long terme portant, jusqu'ici sur trois générations de porcs et de poulets. Le choix de ces espèces animales (poulets, porcs et veaux) était motivé par le besoin de ces animaux en protéines de haute qualité.

Résultats de ces expériences :

1° Si l'on remplace la farine de poisson par des levures BP dans l'alimentation des poules pondeuses, on constate que la levure BP peut être utilisée sans aucun préjudice sur l'indice de ponte, la qualité des œufs et la santé générale des pondeuses.

2° Shannon and Md Nab du Poultry research Center, Edimbourg, Ecosse, a remplacé la farine de hareng et un mélange de farine de hareng et de tourteaux de soja par de la levure dans l'alimentation des poulets de chair. Les résultats ont permis de constater que l'incorporation de levure à des taux n'excédant pas 10 % dans les régimes de démarrage n'avait pas d'incidence importante sur les performances mais qu'à des taux plus élevés les résultats n'étaient pas si bons.

	Pourcentage de levure dans les régimes		
	0 %	5 %	10 %
Poids vif à 4 semaines (g)	767	789	771
Gain de poids entre 4 et 8 semaines (g)	1 043	1 079	1 043
Indice de consommation (kg aliment/kg gain poids)			
0 - 4 semaines	1,55	1,56	1,62
4 - 8 semaines	2,68	2,69	2,58

3° Une expérience intéressante concernant l'élevage et l'engraissement des porcs a été signalée par Barber et ses collaborateurs du National Institute for research in Dairying, de Reading, Angleterre. La farine de poisson fut remplacée par de la levure cultivée sur des n paraffines. On a constaté qu'aux deux niveaux d'incorporation, la levure améliorait marginalement à la fois le gain de poids et l'indice de consommation.

	Niveau « standard »		Niveau « bas »		Signification des différences	
	FPB	levures G	FPB	levures G	FPB levures G	standard bas
Gain de poids quotidien en g	703	730	621	633	X X	X X X
Indice de consommation	2,87	2,80	3,21	3,18	X	X X X

Niveau protéique standard : 15 % jusqu'à 60 kg de poids vif,
23 % par la suite.

Niveau protéique bas : 13 % jusqu'à 60 kg de poids vif,
12 % par la suite.

X P 0,05 X X P 0,01 X X X P 0,001

10 porcs par traitement entre 20 et 90 kg de poids vif.

Résultats de Barber, Braude, Mitchell et Myres.

Gaye et Moal de l'Association générale des producteurs de maïs, pour la France, ont nourri des porcs avec du maïs complété soit par des tourteaux de soja soit par de la levure cultivée sur alcanes (Levure L). Ils n'ont observé aucune différence dans le taux de croissance, l'indice de consommation ou la qualité des carcasses. Cette même levure L a été utilisée par Clausen pour remplacer soit partiellement soit totalement un mélange de lait écrémé en poudre (15 % en poids du régime témoin), de farine de hareng, de tourteaux de soja et levure fourragère dans les régimes des porcelets sevrés précocement. Cette expérience a été faite sur un nombre limité d'animaux mais les résultats furent satisfaisants et très encourageants dans le cas de levure addi-

tionnée de dl méthionine pour laquelle les performances étaient pratiquement identiques à celles obtenues avec le régime témoin.

Ces différents rapports, bien que des études se poursuivent encore actuellement, semblent démontrer que la levure peut être employée avec succès pour remplacer une partie et dans certains cas, la totalité des protéines incorporées pour enrichir l'alimentation animale.

8. L'expérimentation humaine

L'expérimentation humaine devra prendre en considération plusieurs problèmes qui ont été évoqués au cours de la discussion des résultats expérimentaux sur l'animal et des connaissances chimiques sur la composition de ces levures. Il est bien évident que le premier problème est l'acceptabilité. Mais les protéines extraites des levures posent dans l'alimentation humaine d'autres problèmes, liés à la constitution de la levure ou aux caractères héréditaires des substrats. Ils sont en gros de quatre ordres :

1° Les risques d'allergie liés au caractère étranger de la protéine de levure ou aux résidus de substrats présents dans cette levure ;

2° Les fortes teneurs en acides nucléiques des levures ;

3° La teneur en lipides particuliers de ces levures ;

4° Les teneurs en métaux provenant du substrat qui sont, soit des avantages, soit des inconvénients. En effet, on peut enrichir le substrat en métaux particuliers pour enrichir la levure, et d'autre part, le substrat peut contenir des métaux dont la présence n'est pas souhaitable dans la levure et représente une contamination.

Nous allons examiner ces quatre points plus longuement.

1) LES RISQUES D'ALLERGIE

Au congrès d'Aix-en-Provence, le Professeur Scrimshaw a évoqué les perspectives d'alimentation humaine à partir des protéines extraites des levures. Jusqu'à présent, les levures ont été utilisées dans l'alimentation comme source de vitamines à des doses faibles. Même à ces faibles taux d'ingestion, souligne M. Scrimshaw, les expériences n'ont pas toutes été concluantes. Une dose de 15 g de levures cultivées sur mélasse peut entraîner

des troubles gastro-intestinaux. Il n'est pas certain qu'un agent utilisé au cours de l'épuration n'ait pas été en cause, mais aucune expérience de longue haleine n'a été faite avec les protéines de levures permettant d'éliminer la responsabilité directe des levures elles-mêmes. Le Dr Scrimshaw apporte des expériences faites au MIT en 1969 avec des *Torula* cultivées sur lessives sulfutiques. Douze jeunes hommes, en bonne santé, reçurent 90 g de levures par jour pendant 11 semaines. Un seul sujet a éprouvé des symptômes de dérangement gastro-intestinal, mais entre la 3^e et la 5^e semaine. Huit sujets présentèrent une desquamation bilatérale de la paume des mains et de la plante des pieds.

Dans un lot de contrôle utilisant des levures de même origine, mais à la dose de 45 g, un seul sujet sur onze fut atteint de desquamation. Dans une autre série d'expériences, cinq sujets reçurent 135 g de levure par jour pendant 10 semaines. Deux sujets se plaignirent de troubles gastro-intestinaux et les trois autres présentèrent des lésions cutanées, à type d'érythème, qui disparurent sans qu'il eut été nécessaire d'interrompre l'ingestion de levure. L'utilisation d'une levure *Torula* cultivée sur glucose ne s'accompagne pas de réaction du même style.

Au cours d'une expérience avec des levures cultivées sur éthanol, cinquante sujets reçurent 20 g par jour de levures pendant six mois, 9 d'entre eux présentèrent des troubles gastro-intestinaux fréquents. Ces accidents sont probablement d'ordre allergique et il semble qu'il n'y ait pas de sensibilité croisée entre les produits. La nature de l'allergence n'a jamais été identifiée, mais il paraît complètement éliminé par lavage à l'acide.

Le Professeur Scrimshaw a rapporté également des expériences du Dr Calloway avec des protéines d'origine bactérienne lavées, stérilisées, lyophilisées, ayant donné lieu à des accidents de type intestinal ou à des intolérances à type de maux de tête.

En France, depuis la dernière guerre, un certain nombre d'essais pratiqués avec un *saccharomyces* cultivé sur lacto sérum ont donné, notamment à l'un de nous, des résultats plus encourageants. Une étude plus systématique des microorganismes et des substrats utilisables est nécessaire. Elle sera longue car elle doit aller de pair avec des recherches de pureté chimique et comporter de nombreuses expériences témoins, mais elle peut, seule, nous apporter des données sur la sécurité d'emploi des protéines extraites des organismes monocellulaires.

2) LA RICHESSE EN ACIDES NUCLEIQUES

Les levures sont généralement riches en acides nucléiques et les levures cultivées sur alcanes par la Société B P comportent 7 à 10 % d'acides nucléiques. La consommation journalière d'acides nucléiques par l'homme doit être limitée aux environs de 2 g, car l'élévation de la richesse de la ration s'accompagne d'une augmentation de formation d'acide urique pouvant conduire jusqu'à la goutte. En fait, le taux des acides nucléiques dans les levures peut être réduit par lavage ou extraction par solvant, procédés entraînant une augmentation de coût de production et susceptible d'ôter de la préparation également certaines vitamines. Chez les populations ayant une consommation de protéines particulièrement basse, il est vraisemblable qu'on peut sans danger relever le taux de tolérance aux acides nucléiques. Ceci est particulièrement vrai quand l'administration de protéines riches en acides nucléiques doit être de brève durée. Néanmoins, quand les levures doivent être incorporées de façon prolongée dans l'alimentation de l'homme, il est nécessaire de tenir compte de ce facteur.

3) AUTRES CONSTITUANTS

a) Les lipides

La connaissance des acides gras de ces levures est assez récente. Etant donné leur forte proportion d'acides gras à nombre impair de carbone, des études de tolérance chez l'homme devraient être envisagées. Dans les levures cultivées sur gas oil, les lavages par solvants utilisés pour entraîner les résidus du gas oil assurent en même temps une délipidation presque complète (1 % de lipides).

Pour les levures cultivées directement sur alcanes, qui ne subissent pas de lavage, le problème peut se poser ; leur teneur en lipides sur brut est de 9,7 %. De toute façon, si des problèmes de tolérance pour les lipides existaient chez l'homme, il ne serait pas difficile de délipider l'extrait de levure pour ne conserver que les protéines.

b) Les métaux

A Aix-en-Provence, les rapporteurs ont beaucoup insisté sur la nécessité de contrôler la teneur en métaux lourds du substrat de façon à ce qu'aucun métal toxique ne se trouve dans l'extrait

protéique des levures cultivées. Parallèlement, il a été signalé que la levure s'enrichit spontanément au cours de sa croissance en métaux présents dans le substrat de culture. Les expériences d'alimentation sur le veau ont montré que la teneur très élevée de ces levures en fer pouvait être un inconvénient, car elle ne permettait pas d'obtenir une viande suffisamment blanche. Il n'est pas certain que chez l'homme la richesse d'un aliment en fer soit un défaut, particulièrement dans les contrées en voie de développement où l'anémie est fréquente.

Des recherches vont être entreprises sur le taux idéal de fer d'une préparation de ce genre pour l'homme et sur la possibilité, en faisant varier la composition du substrat, d'assurer ce taux dans le produit final. Il est bien évident que toutes les manipulations faites sur le substrat de culture vont entraîner une modification du coût de production des protéines extraites des levures. Cependant, les coûts semblent suffisamment bas pour supporter un léger relèvement s'il doit s'accompagner d'une amélioration de la qualité nutritionnelle pour l'homme. Les produits ainsi obtenus seraient toujours compétitifs avec les protéines d'origine animale provenant de l'agriculture.

CONCLUSION

La malnutrition protidique, élément essentiel de la dénutrition, est à l'heure actuelle un problème extrêmement grave. L'accroissement rapide de la population rend ce problème d'autant plus aigu. Sur le plan médical, et en premier lieu sur le plan anatomo-pathologique, les images observées chez le rat, en carence protidique expérimentale, sont superposables à celles que l'on décrit chez l'homme dans différents cas de dénutrition, en particulier chez les déportés, les gastrectomisés et dans la maladie sévissant dans la zone intertropicale, connue sous le nom de kwashiorkor.

Dans tous ces cas qui sont liés à une insuffisance alimentaire en protides ou à la mauvaise utilisation de ceux-ci, on retrouve les mêmes lésions.

1) Les lésions pancréatiques.

Au niveau du pancréas exocrine, il existe une dégénérescence associant une atrophie des acini avec perte des grains de zymogène et une sclérose réalisant une cirrhose.

Au niveau des îlots de Langerhans, on note une diminution du nombre puis une disparition des cellules A.

2) Les lésions hépatiques consistent en une stéatose.

3) Il existe également une diminution de l'activité testiculaire et hypophysaire.

Sur le plan clinique, les signes sont bien connus et sans apport protidique, l'évolution se fait inéluctablement vers la mort.

Pour augmenter la production de protides, la science et la technique peuvent suivre plusieurs voies :

1) Une utilisation des terres plus poussée et mieux comprise, grâce à l'usage des techniques capables de transformer des terrains dont le rendement est bas, en sols de productivité élevée. Les engrais ont une grande place dans cette optique. L'enrichissement des sols peut entraîner un accroissement considérable du rendement.

2) L'application des connaissances en génétique et en sélection des plantes pour augmenter le rendement alimentaire de celles-ci. Il est même possible de modifier la composition chi-

mique et par conséquent la valeur nutritive de certains produits. Notamment à l'heure actuelle, aux U.S.A., on a mis au point deux variétés de maïs dont la valeur biologique est de 80 %. Ce sont la Staréa et la Golden Pro.

3) L'exploitation de la mer qui représente l'un des plus grands espoirs pour la solution du problème alimentaire, notamment en ce qui concerne la fourniture de protéines. L'industrialisation d'une farine de poisson d'un genre bien accepté par le consommateur est une grande réussite.

4) L'utilisation de nouvelles sources de protides et la transformation de produits jusqu'ici non alimentaires. Le soja et le tournesol sont des plantes extrêmement riches en protides et d'un coût relativement faible. Leur tolérance par l'homme est excellente. Les spirulines, algues pluricellulaires sont de très bonnes sources de protides et ne présentent aucune toxicité. Elles ont déjà été employées dans l'alimentation des nourrissons et des jeunes enfants, au Mexique avec succès.

Les levures : Des quantités importantes de protides sont obtenues en cultivant les levures, notamment à partir de la mélasse.

En Angleterre, on cultive un genre de levure dans les résidus de la pomme de terre. Ces levures contiennent 50 % de protides. La plus spectaculaire de ces industries de transformation biologique est celle qui produit des protides à partir de l'une des fractions de la distillation du pétrole : les alcanes. De nombreuses expériences ont été pratiquées, à court et à long terme, sur les animaux de laboratoire et les animaux d'élevage. Elles permettent de conclure que les levures cultivées sur alcanes ne présentent aucune toxicité (rénale, hématologique, biochimique), qu'elles n'ont aucune action terratogène ni cancérigène et qu'elles n'ont aucune influence sur la reproduction. Des levures sont actuellement utilisées dans l'alimentation des animaux d'élevage et donnent de très bons résultats. Son utilisation chez l'homme nécessite encore des études qui sont actuellement en cours.

En effet, certains éléments de ces levures entraînent des phénomènes d'allergie chez l'homme. De plus, leur haute teneur en acide nucléique pourrait entraîner une augmentation de l'uricémie et, par conséquent, serait responsable d'affections à type de goutte ou de lithiase.

L'étude de ces nouvelles sources de protides est très intéressante et permet d'avoir de grands espoirs quant à la solution de ce problème de malnutrition.

BIBLIOGRAPHIE

- A. ASCHKENASY — Titres et travaux scientifiques, Paris 1972.
- AUTRET M. — « Les besoins du Monde en protéines ». Revue de Pathologie comparée et de médecine expérimentale. Séance solennelle du 11 décembre 1973.
- BUCKO A., KOPEC Z. et BALALA J. — « L'adaptation du pancréas aux changements nutritionnels ». Médecine et nutrition n° 3 1972, p. 53-60.
- CASTRO J. de — « L'explosion démographique et le phénomène de la faim dans le monde ». Sandorama n° 16, 1973, p. 4-8.
- CLEMENT G. — « La spiruline, une algue alimentaire riche en protéines ». Revue de pathologie comparée et de médecine expérimentale, Séance solennelle du 11 décembre 1973.
- COPELMAN L. — « La neuro endocrinopathie de la déportation dans la rétrospective de vingt ans ». Académie nationale de Médecine, 22 janvier 1963, p. 59-64.
- COSMER J. — « Contribution à l'étude du halo peri insulaire pancréatique ». Annales d'endocrinologie et de nutrition. Juillet-août 1957, p. 530-534.
- DARNES F. et MOSSE A. — « Les hépatopathies nutritionnelles (le foie dans la dénutrition et la malnutrition) ». Journées d'endocrinologie et de nutrition, octobre 1965, p. 23-25.
- FRANCISCO MARTIN J. — « Obtencion de proteinas a partir del petroleo ». Las Ciencias Tomo XXXVI n° 3, 1971, p. 166-180.
- FRANKOVA S. — « Influence de la sous-alimentation précoce sur le développement mental et le comportement de rats ». Médecine et nutrition n° 3, 1972, p. 62-63.

- FROMAGEOT D. — « Les protéines dans l'alimentation des animaux domestiques ». Revue de pathologie comparée et de médecine expérimentale. Séance solennelle du 11 décembre 1973.
- GEORGE E. A. — « Las algas, cultivo base para la produccion alimenticia ». Las Ciencias n°4 1971, p. 267.
- GOUNELLE H. et ASTIER DUMAS M. — « Les protéines de soja structurées - Acceptabilité ». Médecine et nutrition, oct-déc. 1970, p. 97-99.
- GOUNELLE de PONTANEL H. et ASTIER DUMAS M. — « Les protéines issues des levures d'alcanes ». Revue de pathologie comparée et de médecine expérimentale. Séance solennelle du 11 décembre 1973.
- LABORIT H. — « Place du CO² dans les processus vivants ». Gazette des Hôpitaux n° 13-14 mai 1971, p. 443.
- LAMY M., LAMOTTE M. et LAMOTTE BARRILLAN S. — « Glandes endocrines et dénutrition ». Annales d'endocrinologie 1947-8, p. 437-447.
- « Médecine et Nutrition ». Juillet-septembre 1973, p. 19-23.
- RICHEL Ch. et MANS A. — « La fabrication industrielle des aliments et la lutte contre la famine ». Bulletin de l'Académie nationale de Médecine, mars 1959, p. 203-209.
- RICHEL Ch. et MANS A. — Communication à l'Académie nationale de Médecine. Séance du 22 janvier 1963, p. 62-65.
- RICHEL Ch. et MANS A. — « Carence en protéines ». La Famine, 1965.
- SENEZ J. — « La production industrielle de levures alimentaires à partir des alcanes ». Le courrier du C.N.R.S. n°, juillet 1973, p. 18-21.
- STARON M. — « Les légumineuses, nouvelles sources de protéines végétales utilisables dans l'alimentation humaine ». Revue de pathologie comparée et de médecine expérimentale. Séance solennelle du 11 décembre 1973.
- Symposium d'Aix-en-Provence de février 1972 « Levures cultivées sur alcanes ».
- TREMOLIERES J., TCHOBRONTSKY G., de GENNES J.-L., AMIEL C., ARDAILLOU R., WOLF L. M. — « Syndrome de dénutrition ». Nutrition et métabolisme n° 11, 1971, chap. 8, p. 220-227.
- VERNE J. — « Les stigmates cytologiques et cytochimiques de la carence azotée ». Congrès français de Médecine, XXIX^e session 1953.

- VERNE J. — « Les modifications cytologiques du pancréas et du foie et la cytochimie des estérases au cours des carences protidiques. *Gazeta Medica Portuguesa*, 1954.
- VERNE J., HEBERT S. — « Retentissement d'un régime hypoprotidique sur le pancréas et l'absorption intestinale du fer ». *Bulletin de l'Académie nationale de Médecine*, 1966, n° 21-22, p. 419-424.
- VERNE J., HEBERT S., RICHSHOFFER N. avec la collaboration de Mme GEFROY — « Comportement d'hépatocytes cultivés en présence d'un concentré protéique de levures développées sur un substrat pétrolier. *Bulletin de l'Académie de Médecine*, 1969, n° 28-29, p. 470-473.
- VERNE J., HEBERT S. et RICHSHOFFER N. — « Action du Tryptophane sur les cellules A des îlots de Langerhans du cobaye en régime hypoprotidique ». *Séance de la Société de Biologie*, 1970, n° 12, p. 24-38.
- VERNE J., MANS A., HEBERT S. et RICHSHOFFER N. — « Action sur des cobayes en régime hypoprotidique d'un concentré protéique de levures cultivées sur alcanes ». *Bulletin de l'Académie de Médecine*, 1972, n° 10-11.
- VIGNE J. — « Dénutrition Protidique ». *E. M. e* 1966 10505 A 10 Tome 4.
- WILLEMIN CLOG L. — « Le tournesol, aliment azoté de remplacement dans le régime de l'enfant des pays en voie de développement ».
-

SOMMAIRE

Introduction

Position du problème	12
------------------------------	----

PREMIERE PARTIE

I. — Manifestations cliniques des carences en protides

A) Le kwashiorkor	19
B) Chez l'adulte	23

II. — Etude expérimentale chez l'animal carencé en protides

A) Sur le plan histologique et cytochimique	28
B) Sur le plan général	32

DEUXIEME PARTIE

Sources de protides

A) Besoins réels en protides	34
B) Sources de protéines..	35

I. — Sources classiques

Protéines d'origines végétales :

1) Les céréales	35
2) Graines de légumineuses	37

a) Tournesol	38
b) Soja	40
B) Protéines animales	41
Viande, poisson	

II. — Nouvelles sources de protides

A) Algues unicellulaires ..	45
Les spirulines	
B) Levures et moisissures :	
Cultures sur substrats conventionnels ..	53
C) Levures cultivées sur alcanes	57
1) Introduction	
2) Découverte récente	
3) Valeur nutritionnelle	
4) Etudes de toxicité chez l'animal	
5) Résultats de ces études	
6) Expériences pratiques sur les rats de laboratoire	76
1) Histologie et cytochimie	
2) Utilisation dans l'alimentation du rat	
7) Alimentation à long terme d'animaux d'élevage	
8) Expérimentation chez l'homme ..	82

Conclusion générale ..	86
-------------------------------	----

Bibliographie	89
----------------------------	----

